



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA

UNAN – MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBEN DARIO

FACULTAD DE CIENCIAS PURAS E INGENIERIA

TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERIO CIVIL

TEMA:

**“DISEÑO DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR A BASE DE UN SISTEMA
CONSTRUCTIVO MIXTO DE FERROCEMENTO Y CONCRETO, UBICADO EN
EL DEPARTAMENTO DE MANAGUA-SABANA GRANDE”**

Realizado por:

Br. Ireyda Raquel Bermúdez Calderón

Br. Martha Kristel Hernández Fonseca

Tutor: Dr. Ing. Ramón Bayardo Altamirano López

Managua, Nicaragua 2015

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

INDICE

PORTADA

INDICE

Páginas

I.	INTRODUCCION.....	6
II.	ANTECEDENTES HISTORICOS.....	9
III.	JUSTIFICACION.....	10
IV.	OBJETIVOS.....	11
4.1.	General.....	11
4.2.	Específicos.....	11
V.	MARCO TEORICO/CONCEPTUAL.....	12
5.1.	Definición del ferrocemento.....	12
5.1.1.	Material componente del ferrocemento.....	13
5.1.1.1.	Mortero.....	13
5.1.1.1.1.	Cemento.....	13
5.1.1.1.2.	Arena.....	13
5.1.1.1.3.	Agua.....	13

Br. Ireyda Raquel Bermúdez Calderón, Br. Martha Kristel Hernández Fonseca

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

5.1.1.2.	Refuerzo.....	14
5.1.1.2.1.	Tipo de malla.....	14
5.1.1.2.2.	Alambre de amarre.....	15
5.1.1.2.3.	Acero de refuerzo.....	15
5.1.1.2.4.	Características del refuerzo.....	17
5.2.	Ventajas del ferrocemento como material de construcción.....	17
5.3.	Características generales del ferrocemento.....	19
5.3.1.	Propiedades físico mecánicas del ferrocemento.....	20
5.3.1.1.	Parámetros mecánicos para el diseño estructural.....	20
5.3.1.2.	Propiedades del compuesto.....	22
5.3.1.3.	Comportamiento (Carga-deformación bajo carga estática).....	22
5.3.1.4.	Elasticidad y comportamiento carga-deformación en tracción.....	23
5.3.1.5.	La primera grieta estructural.....	24
5.3.2.	Resistencia ultima a cortante.....	26
5.3.3.	Comportamiento a compresión.....	26
5.3.3.1.	Resistencia al rango elástico.....	26
5.3.3.2.	Resistencia ultima a compresión.....	26
5.3.4.	Resistencia a flexión.....	27
5.3.4.1.	Comportamiento a flexión.....	27
5.3.5.	Resistencia al impacto.....	29
5.3.6.	Fluencia y contracción.....	31
5.3.7.	Durabilidad y corrosión.....	32

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

5.4.	Aplicaciones del ferrocemento y sus utilidades.....	35
5.4.1.	Barcos.....	35
5.4.2.	Tanques.....	36
5.4.3.	Silos.....	36
5.4.4.	Viviendas.....	36
5.5.	Construcción de paredes de ferrocemento.....	37
5.5.1.	Materiales que constituyen las paredes de ferrocemento.....	37
5.5.2.	Elaboración de paredes de ferrocemento.....	38
VI.	ANALISIS SISMICO.....	40
6.1.	Concepción estructural.....	40
6.1.1.	Descripción general del sistema constructivo.....	40
6.1.2.	Sistema sismoresistente.....	40
6.1.3.	Método de análisis.....	40
6.1.4.	Clasificación de la estructura.....	41
6.1.5.	Acción sísmica.....	42
VII.	MEMORIA DE CALCULO.....	43
7.1.	Cálculo del área tributaria.....	44
7.2.	Diseño de Losas.....	45
7.2.1.	Losa de techo.....	45
7.2.2.	Losa de entrepiso.....	46
7.2.2.1.	Losa de entrepiso del 2do nivel.....	47
7.3.	Cálculo de las fuerzas horizontales, sísmicas y eólicas.....	50
7.4.	Cálculo de los factores Kani para la estructura.....	56

Br. Ireyda Raquel Bermúdez Calderón, Br. Martha Kristel Hernández Fonseca

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

7.4.1. Cálculo de los factores Kani.....	57
7.5. Análisis estructural con el método de Kani.....	59
7.6. Cálculo de las reacciones.....	89
7.7. Diseño de vigas y columnas.....	94
7.7.1. Diseño de vigas.....	94
7.7.2. Diseño de columnas.....	98
7.8. Diseño de un elemento estructural de ferrocemento.....	100
7.9. Comparación de presupuesto de paredes.....	104
7.9.1. Sistema constructivo Ferrocemento.....	104
7.9.2. Sistema Concreto confinado.....	104
VIII. CONCLUSION.....	107
IX. BIBLIOGRAFIA.....	108
X. CRONOGRAMA DE EJECUCION.....	109
XI. ANEXOS.....	110

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

I. INTRODUCCION

Como propósito de esta investigación, se presenta el ferrocemento como un sistema constructivo para un edificio de vivienda multifamiliar, el cual muestra un buen comportamiento sísmico de forma que constituya una solución resistente, digna, sostenible, segura y de bajo costo.

Se optó por el sistema constructivo ferrocemento ya que es una capa de mortero de cemento de espesor delgado, reforzado con malla de alambre y considerado actualmente con una gran innovación debido a que posee una adecuada resistencia tanto a la compresión como a la tracción, pues al estar la malla de acero distribuida en toda la masa del mortero mantiene unidas sus partículas, aun para sollicitaciones a tracción, con lo que también se logra evitar el agrietamiento y una mayor resistencia al impacto tanto como a la fatiga.

Por consiguiente este material de forma altamente versátil de poco peso y de gran resistencia es muy económico, tiene buena resistencia al fuego, buen comportamiento ante las acciones sísmicas y no se oxida, por lo que permite diseñar y construir por medios que respetan el medio ambiente.

Nicaragua esta entre los países con altos índices de déficit de vivienda en Latinoamérica, sin embargo muchas de las viviendas económicas sociales ofertadas por las empresas privadas no están al alcance de estratos sociales de media-baja por ello se hace necesario presentar proyectos de viviendas que sean más económicas, seguras y optimicen el espacio.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

II. ANTECEDENTES HISTORICOS

Los antecedentes del ferrocemento se entroncan con los del hormigón armado, pues su uso comenzó con la fabricación de macetas, pequeños botes, recipientes para agua y otros objetos, llevada a cabo por el francés Jean Lambot en 1848 con un material que él llamó “ferciment”.

A partir de este material se desarrolló el hormigón armado y fue Pier Luigi Nervi, ingeniero italiano, quien retomó la idea original de Lambot, reinventando y desarrollando el ferrocemento. A partir de 1920 realizó sus propias experiencias principalmente en la construcción de pequeños barcos (Ver figura 1).



Figura 1. Embarcación construida con ferrocemento por Pier Luigi Nervi. Fuente: Conceptos generales de ferrocemento.

En 1948 incursionó con el uso de este material en la construcción civil, área donde desarrolló obras notables, entre las que se destacan el Palacio y el Pequeño Palacio (Palazzetto) de Deportes de Roma, la cubierta de la sala central del Palacio de Exposiciones de Turín con una luz de 95 m, el edificio de la Feria de Milán, el Palacio de Deportes de Florencia (Ver figura 2).

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”



Figura 2. Palazzetto de deportes de roma – Etapa de montaje. Fuente: Conceptos generales de ferrocemento.

Nervi utilizó el ferrocemento no sólo como material estructural portante sino como material complementario. Se realizaron experiencias en la construcción de barcos con este material en diversos países como Nueva Zelanda, República Popular China, Canadá, Inglaterra, Rusia, EE.UU., Cuba y otros.

El ferrocemento se aplicó en el campo de la construcción civil en países como Rusia, Checoslovaquia, Polonia, Cuba, México, Brasil, India, Tailandia, y en general en los países de sudeste asiático. El antecedente más antiguo e importante de Proyecto en ferrocemento en Tucumán, fue el realizado por Nervi y Caminos para su Ciudad Universitaria. Si bien no llegó a concretarse, se realizaron modelos de su estructura, que fueron experimentados en el Laboratorio del Politécnico de Milán por el Prof. Ing. Guido Oberti (Ver figura 3).

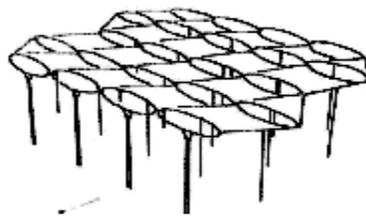


Figura 3. Proyecto para un gran salón en ciudad universitaria de Tucumán. Fuente: Conceptos generales de ferrocemento.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

El diseño muestra elocuentemente las posibilidades estructurales y formáceas del ferrocemento. Constructivamente fueron concebidas con una tecnología similar a los aplicados años más tarde en Roma en el Palacio y Pequeño Palacio de los Deportes, construidos para las Olimpíadas de 1960.

A fines del 2009 y comienzos del 2010 se llevó a cabo el proyecto “Desarrollo del ferrocemento en la construcción de viviendas. Primera etapa”, en el cual se hicieron pruebas de laboratorio en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Se construyeron y ensayaron muretes a compresión diagonal, compresión en paneles simples y dobles, y carga lateral cíclica en paneles simples y dobles.

Los resultados fueron satisfactorios en el caso de los paneles dobles, sin embargo el peso elevado de estos ensambles y la gran resistencia alcanzada hizo concluir que se podía abaratar los costos de los paneles y facilitar la construcción con espesores más delgados.

El ferrocemento dentro de ciertos límites de carga se comporta como un material elástico homogéneo y estos límites son más amplios que los del concreto normal. La distribución uniforme y la elevada superficie específica del refuerzo, da como resultado un mejor mecanismo de control para la formación de grietas, originando una alta resistencia a la tensión del material.

III. JUSTIFICACION

El presente tema tiene como finalidad dar a conocer las características mecánicas que tienen los elementos estructurales fabricados en ferrocemento para ser utilizados en la construcción de obras civiles.

En comparación con el hormigón armado el ferrocemento presenta mejores propiedades mecánicas, particularmente por su menor tendencia al agrietamiento, pues admite gran deformación ante la ruptura, al comportarse dentro de ciertos límites de carga como un material elástico y homogéneo.

La vivienda se convierte en una necesidad básica del hombre ya que presenta una mayor demanda de obras civiles en la mayor parte del territorio y ante la falta de proyectos alternativos en la industria de la construcción se propone un sistema constructivo innovador que reduzca los altos costos, además que ofrezcan sistemas sencillos de construcción sin el empleo de materiales y herramientas costosas o de mano de obra calificada.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General:

- ✓ Realizar el diseño de una vivienda multifamiliar de 3 niveles, utilizando una combinación de materiales la tradicional obra gris e innovando la construcción de paredes a base del sistema constructivo ferrocemento, ubicado en Sabana Grande perteneciente al Departamento de Managua.

4.2. Objetivos Específicos:

- ✓ Aplicación del sistema constructivo ferrocemento en la construcción de obras civiles.
- ✓ Determinar las ventajas y características del sistema constructivo ferrocemento.
- ✓ Dar a conocer las propiedades físico mecánicas del ferrocemento.
- ✓ Elaborar análisis estructural de diseño por el método Kani.
- ✓ Proyectar en base a diseño el presupuesto de paredes elaboradas de ferrocemento en comparación con la tradicional obra gris.

V. MARCO TEORICO/CONCEPTUAL

5.1. Definición de Ferrocemento

El ferrocemento es un tipo de material compuesto donde los materiales que lo integran, generalmente de consistencia frágil, llamada matriz, se refuerzan con fibras dispersas a través del compuesto, dando como resultado mejores comportamientos estructurales que el comportamiento individual. El uso de fibras para reforzar una matriz frágil realmente no es una idea nueva, el antiguo uso de la paja en los tabiques y el pelo en el mortero puede decirse que antecede al uso convencional del concreto de cemento portland, pero el mismo nombre de ferrocemento implica la combinación de un producto ferroso con cemento (Ver figura 4).

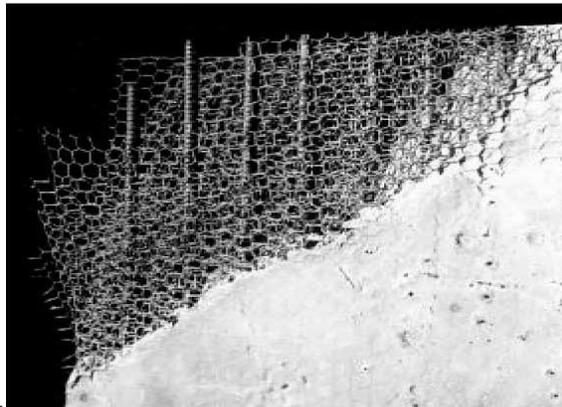


Figura 4. Típica sección de ferrocemento. Fuente: State-of-the-Art Report on Ferrocement

En general, el ferrocemento se considera como una forma altamente versátil de un material compuesto hecho de mortero de cemento y capas de malla de alambre, o de un emparrillado de diámetro pequeño similar, ligados íntimamente para crear una estructura rígida.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

5.1.1. Materiales componentes del ferrocemento

5.1.1.1. Mortero

Llamado también mortero de alta calidad o matriz, forma parte de los materiales del ferrocemento junto con el refuerzo; actúan en conjunto para dar forma al elemento, soportar esfuerzos de compresión y evitar el ingreso de agentes externos que puedan contribuir a deteriorar la estructura.

El mortero está constituido por segmentos, agregados, agua y eventualmente aditivos, donde las dosificaciones son establecidas por peso como de acuerdo al tipo de estructuras y a los esfuerzos a la que estarán sometidas, recomendándose dosificaciones de 1 parte de cemento por 1.5 a 2 partes de arena y 0.3 partes de agua.

5.1.1.1.1. Cemento

Normalmente utilizamos el cemento portland, con el objetivo de obtener elementos de ferrocemento que tengan resistencia a la compresión, impermeabilidad, dureza y resistencia lo más elevada posible al ataque químico. Y que su consistencia se mantenga uniforme, compacta, sin huecos y detrás de la concentración del refuerzo.

5.1.1.1.2. Arena

El agregado normalmente a usar es la arena natural, debe tenerse mucho cuidado en la selección de dichas arenas, ya que pueden verse seriamente afectadas por la abrasión y las reacciones químicas. Debe ser arena de buena calidad, limpia y granos uniformes.

5.1.1.1.3. Agua

La calidad del agua para mezclar el mortero es de vital importancia para el ferrocemento endurecido resultante, las impurezas del agua pueden interferir en el fraguado del cemento y afectar adversamente la resistencia o provocar

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

manchados en la superficie. Causando eflorescencias y así mismo originar la corrosión del esfuerzo.

También se debe tener en cuenta que la resistencia del mortero es inversamente proporcional a la relación agua-cemento.

5.1.1.2. Refuerzo

El acero del armazón, como su nombre lo indica, se emplea generalmente para hacer el armazón de la estructura sobre la cual se colocan las capas de malla. Tanto las varillas longitudinales como las transversales se distribuyen uniformemente y se amoldan a la forma deseada.

5.1.1.2.1. Tipo de malla

- a) El comportamiento del ferrocemento depende en gran medida del tipo, grado de concentración, orientación, resistencia del refuerzo y de las dimensiones de las mallas.
- b) Las mallas de refuerzo están formadas de alambres tejidos, trenzados o soldados, que se distribuyen uniformemente en la masa del mortero y como principales características deben ser manuales y flexibles para adaptarse a diversas formas.
- c) Para la construcción de ferrocemento se emplearán como refuerzo, cualquiera de las mallas indicadas en la tabla 1, de acuerdo al tipo de solicitaciones a que va a estar sometida la estructura. Así mismo, podrán emplearse otros tipos de mallas existentes en el mercado, cuyas características tales como resistencia a la fluencia y módulo de elasticidad, deberán ser determinadas mediante ensayos o suministradas por el fabricante.
- d) Las mallas hexagonales, mallas cuadradas entretejidas, mallas cuadradas soldadas y mallas de metal expandido, deben ser resistentes a la corrosión.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

- e) Podrán emplearse barras lisas o corrugadas de acero estructural para la confección de las mallas de refuerzo, siempre que sus diámetros no sean mayores de 6,35 mm.

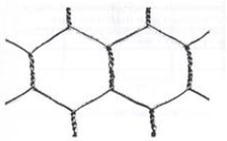
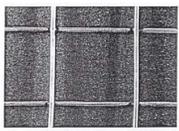
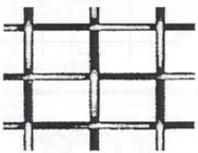
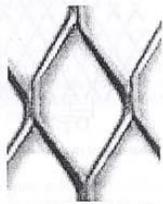
Tipos		Norma	Descripción
Malla de alambre Hexagonal (malla de gallinero)			Fácil de manejar, se forma por el trenzado de alambres galvanizados, se fabrica con alambre estirado en frío.
Malla electrosoldada		ASTM A185	Está formada por alambres rectilíneos de acero, dispuestos de manera que forman cuadrados o rectángulo, soldados entre sí, en los puntos de contacto.
Malla cuadrada Tejida		ASTM E2016-99	Es una malla tejida, en la que los alambres están simplemente entrelazados, formando una malla cuadrada o rectangular, los alambres no están perfectamente derechos y existe un cierto grado de ondulación, según pruebas estas mallas se comportan tan bien o mejor que la malla hexagonal o cuadrada soldada.
Malla de metal Expandido		ASTM C 847	Se forma cortando una hoja delgada de metal desplegado para hacer aberturas en forma de diamante. La desventaja de este material es que tiende a abrirse debido a la acción de “tijera” de la malla en forma de diamante; obviamente existe un límite en cuanto al tamaño y peso de este material para evitar la acción de “tijera”.

Tabla 1. Mallas para ferrocemento. Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

5.1.1.2.2. Alambre de amarre

Se utilizara alambre de amarre o alambre galvanizado número 16 para la unión de las mallas y el acero de refuerzo.

5.1.1.2.3. Acero de refuerzo

En la construcción con ferrocemento se usan varillas de acero de varias clases. Su resistencia, acabado superficial, recubrimiento de protección y tamaño, afectan su comportamiento como elemento de refuerzo del compuesto.

Por lo general, tanto para la dirección longitudinal como para la transversal, se usan varillas de acero dulce. Sirve para hacer el armazón de la estructura, sobre la cual se colocan las capas de mallas donde se distribuyen uniformemente y se separan hasta una distancia de 30 cm, generalmente no son tratadas como refuerzo estructural si no que se les considera como soporte de la malla de refuerzo.

En algunos casos el acero de armazón se separa a una distancia de 7.5 cm de centro a centro, actuando así como un elemento principal de refuerzo con malla de alambre en estructuras altamente esforzadas, por ejemplo: barcos, barcazas, secciones tubulares, etc.

En algunos casos se utilizan varillas de alta resistencia y alambre retorcido pretensado. El tamaño de la varilla varia de 0.42 a 0.95cm (1/4 de pulgada), los tableros de ferrocemento con varillas longitudinales transversales de estas medidas tienen 2.54 cm de espesor aproximadamente. Puede usarse una combinación de varillas de diferentes medidas con las varillas de diámetro menor en dirección transversal.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

5.1.1.2.4. Características del refuerzo

Características		Malla tejida cuadrada	Malla cuadrada	Malla Hexagonal	Malla metal expandido
Esfuerzo de fluencia F_y (kg/cm ²)		4550	4500	3150	3150
Modulo efectivo	EFL(10 ³ kg/cm ²)	1400	2030	1050	1400
	EFr(10 ³ kg/cm ²)	1680	2030	700	700

Tabla 2. Valores mínimos de resistencia a la fluencia y modulo efectivo para mallas y barras de acero recomendadas para el diseño (ACI 549 1R-93). Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Una de las características importantes es que sea lo suficientemente flexible para poder doblar en las esquinas agudas; debe introducirse el suficiente hacer de refuerzo para absorber los esfuerzos producidos por los golpes, torceduras y dobleces.

5.2. Ventajas del Ferrocemento como material de construcción

- 1- Poco peso: Una construcción en ferrocemento tiene alrededor de 10 a 25% del peso de una construcción hecha de ladrillo.
- 2- Larga vida útil.
- 3- Mínimo mantenimiento.
- 4- Facilidad de construcción.
- 5- Sistema estructural adaptable a cualquier diseño.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

- 6- Solución modular en base a paneles prefabricados de hormigón armado impermeable.
- 7- Los paneles son fabricados industrialmente.
- 8- Permite abordar desde una vivienda básica, hasta viviendas de alto estándar en cualquier lugar del país.
- 9- Menor conductividad térmica, seis veces menor que la del acero y mayor resistencia a la abrasión.
- 10- Mayor resistencia al impacto, debido a su gran flexibilidad.
- 11- Mayor impermeabilidad y resistencia a la corrosión de la armadura, como consecuencia de su menor fisuración.
- 12- Mayor facilidad de construcción y reparación. Por la simplicidad de los procesos constructivos no requiere personal especializado. Las partes dañadas se sustituyen con mortero que al fraguar regenera las características del elemento a reparar.
- 13- Bajo costo, garantizado por el tipo de materiales utilizados en su elaboración, por el empleo de máquinas y herramientas muy sencillas, así como por el menor tiempo requerido para el proceso constructivo.

Se puede resumir entonces, que el ferrocemento ofrece propiedades ventajosas como: aislamiento térmico, aislamiento acústico, resistencia a agentes mecánicos. Otra ventaja importante es la versatilidad de formas que se pueden lograr, lo que posibilita que la forma de la estructura contribuya a la rigidez y resistencia de los elementos.

Es decir, permite diseñar arcos o elementos curvos que contribuyan estructuralmente, sin la necesidad de usar formaleta para su construcción, lo que constituye una nueva alternativa frente a los alcances del concreto (Ver figura 4) [Aragón; Wainshtok 1998].

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”



Figura 5. La Ópera de Sydney, un ejemplo de aplicación del ferrocemento. Fuente: Aragón; Wainshtok 1998

5.3. Características generales del ferrocemento

1. La resistencia excepcional del ferrocemento se debe a que su armadura está compuesta por varias capas de mallas de acero de poco espesor superpuesto y ligeramente desplazados entre sí, ya que el concreto soporta considerable deformación en la inmediata proximidad del refuerzo, condición que se aprovecha al máximo con la distribución de las armaduras descritas.
2. Su comportamiento mecánico depende principalmente de la superficie específica de la armadura si esta es buena ya que presenta una buena resistencia a la tracción, que supera sensiblemente a la mostrada por el hormigón armado y se mantiene en el rango elástico hasta su fisuración.
3. La presencia de las capas metálicas de mallas no modifican la resistencia a la compresión por lo que la misma específicamente queda definida por la resistencia a compresión del mortero que forma la matriz.
4. Sus partes y piezas, mediante modulación pueden ser livianas y fáciles de transportar donde cada uno de sus componentes se basa en unidades estandarizadas.
5. Permite la utilización de sistemas mixtos en donde el ferrocemento puede ser usado con otros materiales.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

6. Permite mediante la conformación de los paneles de muros y tabiques, que todas las instalaciones tienen en su interior pudiéndose conformar paneles sanitarios.
7. Satisface en general las normas, como los estándares nacionales e internacionales lo cual permite la prefabricación y la industrialización por medios avanzados.

5.3.1. Propiedades físico - mecánicas del Ferrocemento

5.3.1.1. Parámetros mecánicos para el diseño estructural

En viviendas o estructuras hechas con ferrocemento el sistema de resistencia sísmica conformado por cada uno de los elementos estructurales debe poseer suficiente integridad, resistencia y rigidez para garantizar la transferencia de las cargas hasta la cimentación, de forma segura y económica.

Cualquier estructura construida con elementos prefabricados en ferrocemento debe diseñarse y construirse de tal manera que pueda soportar todas las cargas muertas, vivas, de viento y de sismo, sin exceder las tensiones admisibles o las resistencias nominales, cuando se incrementan las cargas por medio de factores de seguridad. Además, todas las cargas deben evaluarse de acuerdo con las Normativas de diseño y construcción sismos resistentes de cada país.

En viviendas de bajo costo, los elementos prefabricados y sus componentes deben diseñarse para que tengan una rigidez adecuada para atender deflexiones verticales o desplazamientos horizontales ante cargas de sismo, sin fallar y sin exceder los límites especificados por las normas vigentes. Deben determinarse los efectos de las cargas en los diferentes elementos de la estructura y de sus conexiones, tomando en cuenta los principios de equilibrio y compatibilidad en las deformaciones y las propiedades de los materiales, tanto a corto, como a largo plazo.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

En los elementos que tiendan a acumular deformaciones residuales bajo cargas de servicios repetidas, debe tenerse en cuenta el análisis de las excentricidades adicionales que se espera que ocurran durante la vida útil de la estructura. Deben ser lo suficientemente flexibles para poderlas doblar, como en el hormigón, la matriz cementante del ferrocemento es frágil. El entretejido metálico le proporciona ductilidad y su distribución es homogénea en toda la sección transversal.

El ferrocemento se considera un material homogéneo, con una alta relación de superficie sobre volumen, constituido por refuerzo metálico de pequeños diámetros distribuido dentro de una matriz frágil de mortero; esta composición le otorga al material propiedades importantes como ductilidad, durabilidad y baja permeabilidad. Desde sus inicios, el ferrocemento se ha construido empíricamente, en los últimos años se han desarrollado varias propuestas para el diseño con ferrocemento y se han publicado varios estudios experimentales sobre su comportamiento para comparar con las predicciones teóricas.

- Propiedades mecánicas del Ferrocemento
 - Módulo de elasticidad 115,000 Kg/cm²
 - Resistencia a la compresión 4,000 Kg/ml paneles muro
 - Resistencia al corte 7,0 Kg/cm² (Admisible)
 - Resistencia al punzonamiento 1,500 Kg
 - Resistencia a la adherencia 2 Kg/cm²
 - Densidad del ferrocemento 2500 Kg/m³

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

5.3.1.2. Propiedades del compuesto

Se presentan algunas propiedades mecánicas para el ferrocemento reforzado con mallas de acero convencional y matrices de mortero de cemento. (Ver tabla 3)

Propiedades del ferrocemento	Espesor	6 = dw = 50 mm, (preferible < 30 mm)
	Recubrimiento del acero	1,50 = d' = 3,0 mm
	Resistencia última a tracción	Hasta 35 MPa
	Deformación última a tracción	0,0035 o la deformación última del refuerzo
	Esfuerzo permisible a tracción	0,6 fy o hasta 14 MPa
	Módulo de ruptura	Hasta 70 MPa
	Relación flexión/tracción	De 2,0 a 2,5
	Resistencia a la compresión	De 12 a 96 MPa
	Ancho de fisuras W	0,05 mm = W = 0,10 mm

Tabla 3. Propiedades físico- mecánica del ferrocemento. Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

5.3.1.3. Comportamiento carga–deformación bajo carga estática

Las siguientes consideraciones son dadas para la resistencia última y para la resistencia de grieta. El comportamiento carga–deformación del ferrocemento bajo varias formas de carga estática -y en particular su elasticidad, que históricamente ha sido identificada como uno de sus mayores atributos- debe ser examinada teniendo en cuenta estos dos parámetros.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

5.3.1.4. Elasticidad y comportamiento carga–deformación en tracción

Comportamiento característico a tracción:

El comportamiento carga–deformación del ferrocemento a tracción se ha caracterizado en tres estados:

a) Estado elástico o estado I:

En este estado el ferrocemento se comporta linealmente, deformándose en forma directamente proporcional con la carga aplicada. La malla de refuerzo y la matriz de mortero trabajan conjuntamente con deformaciones similares sin perder adherencia entre mortero y refuerzo. Si la dirección de la carga es paralela a la dirección de las fibras de refuerzo, se supone que la fibra y la matriz toman la carga en conjunto en forma directamente proporcional a sus áreas seccionales. Aunque pueden existir micro grietas no observables a simple vista debido a imperfecciones del material o formadas por la retracción durante el fraguado, no hay formación de grietas nuevas debido a la aplicación de carga. En estos casos, el cálculo del módulo de elasticidad del compuesto con base en los módulos de elasticidad de los componentes es relativamente sencillo.

En las secciones de ferrocemento con mallas de fibras alineadas en cualquier dirección (metal expandido, hexagonal o fibras discontinuas), la obtención del módulo de elasticidad efectivo del compuesto es más complejo. En cualquier caso, el modelo de distribución de tensiones entre el mortero y el refuerzo se basa en la característica modular de las mallas de alambre, donde se puede identificar un patrón básico repetitivo con el que puede describirse el conjunto. Así, el compuesto puede dividirse en franjas básicas donde se analiza el aporte de cada componente al comportamiento del compuesto en función de las tensiones para obtener un módulo de elasticidad equivalente.

b) Estado de agrietamiento o estado II:

Con el aumento de la carga rápidamente se excede la resistencia a la tracción del mortero y la malla de refuerzo atiende las tensiones de tracción subsecuentes. El

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

comportamiento del ferrocemento pierde linealidad con el aumento en las tensiones, las grietas se multiplican y se agrandan. La primera grieta es función de la superficie específica del refuerzo. La aparición, multiplicación y ancho de las grietas depende de la adherencia entre el refuerzo y el mortero, de la distribución del refuerzo y del espesor de la capa del mortero.

c) Estado de fluencia o estado III:

Con el continuo incremento en la carga las grietas siguen aumentando uniformemente; no hay formación significativa de grietas nuevas, lo que implica el ensanchamiento y alargamiento de las grietas existentes junto con el incremento de las tensiones de tracción en el acero y, si es del caso, de compresión en el mortero. El compuesto actúa conjuntamente hasta un ancho de grieta aproximado de 100 micras. El refuerzo toma todas las tensiones de tracción y entra al intervalo de cedencia. Antes de la falla se registra una carga o esfuerzo máximo.

5.3.1.5. La primera grieta estructural

En la literatura técnica sobre ferrocemento la resistencia a la primera grieta aparece como una de las propiedades interesantes del ferrocemento en tracción o flexión. Numerosos y largos debates se han llevado a cabo por especialistas e investigadores para definir “la primera grieta”. “La primera grieta” puede ser subjetiva y definida de varias maneras. Quizá pueda verse a simple vista o ser microscópica.

Las microgrietas son inherentes a la matriz de mortero, aun sin ser cargada. Cuando la estructura es solicitada, aumentan de ancho y se propagan progresivamente, entonces son detectadas a simple vista o de alguna otra manera. En ensayos de laboratorio sobre especímenes a tracción, las microgrietas se desarrollan aleatoriamente a través de toda la matriz cementante. Cuando el grupo de microfisuras se une de forma tridimensional en la superficie del elemento y lo separa en dos, se ha formado “la primera grieta estructural” [Naaman, 2000].

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

En otros estudios [ACI, 1997] “la primera grieta”, es definida como la primera desviación de la linealidad en la curva carga - deformación del ferrocemento a tracción o la correspondiente desviación en el gráfico carga– deflexión, en la curva a flexión del ferrocemento. El ancho de grieta bajo carga a flexión es de 0.075 mm. En ferrocemento, la superficie específica del refuerzo está directamente relacionada con la formación de la primera grieta. Los efectos sobre el espaciamiento promedio de grietas y el ancho están aún más influenciados. Cuando la superficie específica aumenta, la resistencia a la primera grieta crece; en flexión este efecto no es significativo.

5.3.2. Resistencia última a cortante

Son pocos los estudios de los muchos que se han hecho sobre ferrocemento que han incluido la evaluación de la resistencia a cortante. El ferrocemento ha sido usado principalmente en paneles de pared delgada en donde la relación altura– longitud en flexión es bastante mayor, y de una u otra manera el esfuerzo cortante no gobierna el criterio de falla [Mansur et al, 2001]. Además, los elementos estructurales de ferrocemento contienen una alta fracción de volumen de mallas de refuerzo que contribuyen a la acción cortante.

Las capas de malla en el ferrocemento proporcionan el refuerzo a cortante, equivalente a las barras transversales en el hormigón armado. El ferrocemento no tiene particularmente refuerzo a cortante, tal como sucede en losas delgadas de hormigón armado. Las propiedades y algunas ecuaciones para el diseño a cortante en elementos de ferrocemento se han propuesto de manera similar al hormigón armado. La ecuación, permite obtener la resistencia a cortante.

$$v_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6}$$

Donde: v_c es la resistencia promedio nominal a cortante, proporcionada por la matriz de mortero y f'_c es la resistencia a compresión del mortero. Para el diseño de ferrocemento la sección crítica para cortante puede ser tomada a una distancia

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

d_{ex} , desde la parte superior a compresión del elemento, hasta la capa extrema de refuerzo a tracción. El comité ACI [ACI, 1997], propone la resistencia a cortante del ferrocemento como un 32% de la resistencia a flexión.

5.3.3. Comportamiento a compresión

5.3.3.1. Resistencia al rango elástico

La resistencia a la compresión del ferrocemento pueden expresarse de la siguiente manera: $\sigma_{c1j} = \sigma_{m1j} v_{m1j} + \frac{v_{f1}^i}{\Omega_{1j}} + \sum_{i=1}^{N_{f1}} F_{1ij}^2$; $\sigma_{1ij} \propto 1_{ij}$

$$\sigma_{c2j} = \sigma_{m2j} v_{m2j} + \frac{v_{f2}^i}{\Omega_{2j}} + \sum_{i=1}^{N_{f2}} F_{2ij}^2; \sigma_{2ij} \propto 2_{ij}$$

Dónde: σ_{c1j} y σ_{c2j} denotan el esfuerzo de compresión en las partes superior e inferior respectivamente. De manera similar puede obtenerse el módulo de elasticidad a compresión para las partes superior e inferior respectivamente, del segmento en serie, de la manera siguiente:

$$E_{c1j} = E_{m1j} v_{m1j} + v_{f1}/\Omega_{1j}; \sum_{i=1}^{N_{f1}} F_{1ij}^4 E_{1ij} \propto 1_{ij}$$

$$E_{c2j} = E_{m2j} v_{m2j} + \frac{v_{f2}}{2\Omega_{2j}}; \sum_{i=1}^{N_{f2}} F_{2ij}^4 E_{2ij} \propto 2_{ij}$$

El módulo de elasticidad E_c , para toda la sección, puede expresarse siguiendo la ecuación de la siguiente manera:

$$E_c = \frac{\sum_{j=1}^{N_m} E_{c j} n_j A_{c j}}{\sum_{j=1}^{N_m} A_{c j}}$$

5.3.3.2. Resistencia última a la compresión

La resistencia última a la compresión puede determinarse haciendo caso omiso de la contribución de la fibra, ya que supuestamente sufren pandeos. Un patrón típico de fallas de muestras de ferrocemento bajo compresión directa se describe en la figura (Ver figura 6).

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Los resultados experimentales de Pama, Sutharatanachaiyaporn y Lee, demostraron que bajo compresión la resistencia ultima a la compresión es menor que la del mortero puro equivalente ver figura 6, la resistencia a la compresión en condiciones ultimas es de $0.85 f'c$ donde $f'c$ es la resistencia ultima a la compresión del mortero.

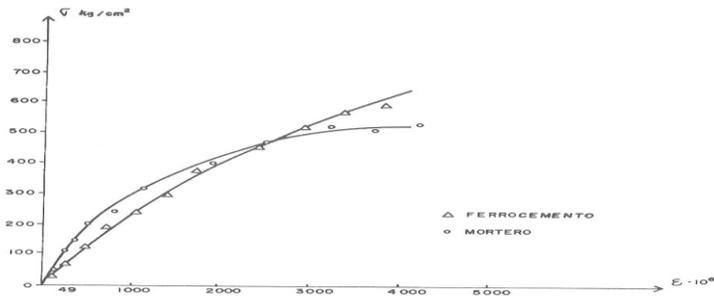


Figura 6. Curva esfuerzo – deformación unitaria de mortero y ferrocemento en compresión axial.

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

5.3.4. Resistencia a flexión

5.3.4.1. *Comportamiento a la flexión*

Basunbul et al., 1991, estudiaron el comportamiento a flexión de paneles en sándwich, y concluyeron que el número de estribos y la presencia de refuerzo con malla en red juegan un papel importante en el desarrollo de la capacidad a momentos; además el incremento en el número de las capas de malla de alambre y el uso de esqueleto en acero en la zona a tensión, aumenta la ductilidad tanto en el rango de trabajo como en la resistencia última. Sin embargo, el número de capas no tiene influencia en la rigidez del estado no agrietado, más si en el estado agrietado. La curva carga – desplazamiento de un elemento sometido a flexión simple es aproximadamente trilineal (Ver figura 7) donde se pueden apreciar tres zonas de comportamiento bien definidas (elástica, elasto – plástica y plástica) [Wainshtok 1998].

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

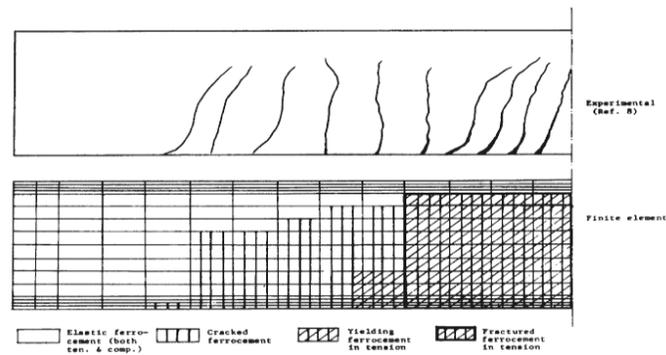


Figura 7. Estado del material en una de las vigas, cerca de la falla. Fuente: Basunbul et al. 1991.

El ferrocemento se comporta como un material elástico hasta la formación de la primera fisura, cuando ocurre una sensible disminución de rigidez en el elemento flexionado, identificado por la deflexión del diagrama carga – flecha (Ver figura 8).

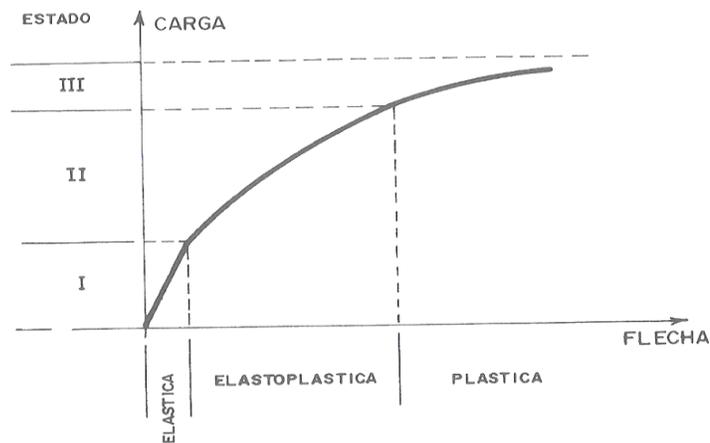


Figura 8. Diagrama típico de carga – flecha. Fuente: Wainshtok 1998

Siguiente zona el comportamiento para a ser elasto-plástico, ocurriendo una multiplicación del número de fisuras acompañado de un aumento pequeño, pero progresivo de la abertura de las mismas. El diagrama carga–flecha se aproxima bastante a una línea recta. En la fase final el comportamiento del material es claramente no lineal, ocurriendo un rápido aumento de las flechas y un acentuado aumento del ancho de las grietas hasta que ocurre la falla. En este estado se considera que toda la fuerza de tracción la toma el acero [Wainshtok 1998].

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

La resistencia del ferrocemento a la flexión depende no solamente de la superficie específica, sino también del tipo de malla, su orientación y su geometría intrínseca así como la presencia o no del acero de esqueleto, como se muestra en las figuras 9-10 [Wainshtok 1998] (Ver figura 9 y 10).

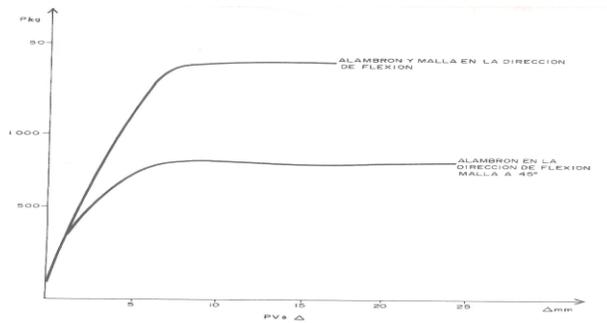


Figura 9. Efecto de la orientación de la malla en flexión [Wainshtok 1998].

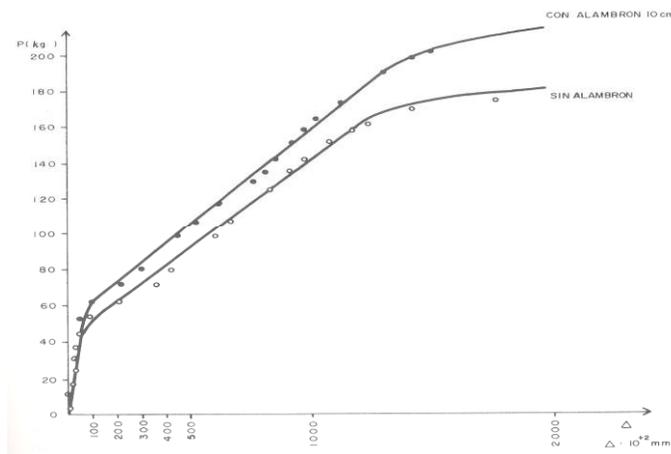


Figura 10. Efecto del acero de esqueleto en la flexión. Fuente: Wainshtok 1998.

5.3.5. Resistencia al impacto

En cuanto a la resistencia al impacto el ferrocemento presenta una mayor resistencia que el concreto reforzado tradicional, debido a su elevada capacidad de absorción de energía. También se ha determinado que los tableros con mayor superficie específica de malla y con separaciones pequeñas del refuerzo tienen una mayor resistencia al impacto. Abdullah et al., 2003, realizaron una investigación sobre el comportamiento de paneles de ferrocemento sujetos a

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

impactos de misil, para lo cual usaron siete especímenes de panel de 750 mm x 750 mm, y diferentes espesores 80, 100 y 120 mm, como se muestra en la figura 10. Los resultados son mostrados en las figuras 12-13 [Abdullah et al. 2003].

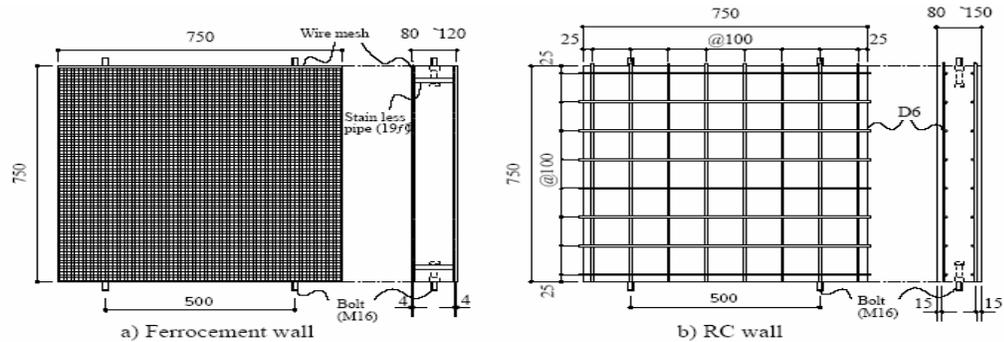


Figura 11. Dimensión y detalle de los especímenes. Fuente: Abdullah et al. 2003.

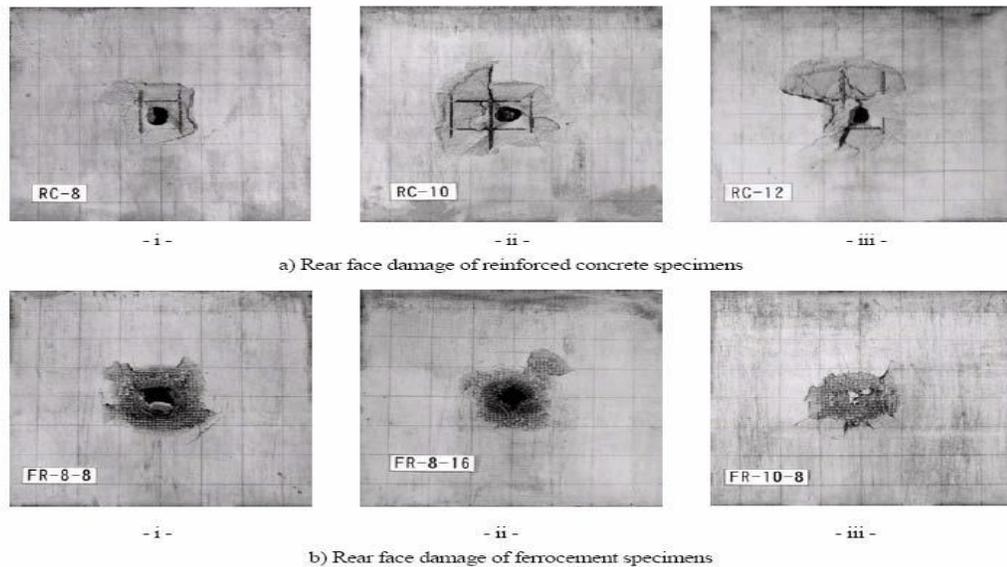


Figura 12. Daños en los especímenes probados. Fuente: Abdullah et al. 2003.



Figura 13. Captura de fotos por cámara de velocidad rápida. Fuente: Abdullah et al. 2003.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Adajar et al., 2006, concluyeron que la resistencia recubierta después de la reparación de un elemento de ferrocemento, no se pudiera generalizarse. El tipo de carga, el número de capas de refuerzo de malla, el contenido cemento – arena agua de la mezcla, y otras propiedades relacionadas tenían los efectos en los factores de recuperación de resistencia. Los resultados experimentales y analíticos indicaron que la resistencia recuperada se pudiera estimarse para ser aproximadamente 70% de la resistencia original para la condensación bruscamente, 90% para la tensión y 100% para la flexión. Debido a la integridad estructural y la posibilidad de reparación, el ferrocemento puede ser una alternativa apropiada a los materiales de construcción normalmente usados en algunos sitios donde ellos son menos resistente a las fuerzas de un huracán [Adajar et al. 2006].

5.3.6. Fluencia y Contracción

Existen un número limitado de publicaciones que hacen referencia a las características de fluencia y contracción de las diferentes formas de ferrocemento.

❖ Fluencia

La fluencia del ferrocemento está en función principalmente a la restricción ofrecida por parte del refuerzo. Se ha descubierto que el ferrocemento reforzado con mallas de alambre sin galvanizar, muestra mayor fluencia que el reforzado con mallas de alambre galvanizado.

❖ Contracción

La contracción de la matriz (mortero) depende en gran parte del contenido de agua, que a su vez está en función de la trabajabilidad requerida para la colocación, consolidación y acabado del mortero fresco. Así mismo depende de la gradación de la arena, la presencia de aditivos como puzolana, cal, etc.

La contracción del ferrocemento depende también de las restricciones ofrecidas por el refuerzo, el cual está en función de la fracción de volumen en la dirección considerada y probablemente otros factores asociados con el desarrollo de la

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

grieta, esto es superficie específica, tipo de refuerzo y espaciamiento de los alambres en la malla.

5.3.7. Durabilidad y Corrosión

❖ Durabilidad

El ACI define a la durabilidad, como la habilidad que poseen las estructuras para soportar las inclemencias del tiempo sin que sufra deterioro alguno.

El comité ACI 201 se formó en 1957, en el número de diciembre de 1962 del “ACI Journal”, publicó un informe titulado “Durabilidad del Concreto en Servicio”.

Aunque estas medidas son requeridas para asegurar la durabilidad en estructuras de concreto reforzado convencional (ACI 201.2R), también son aplicables para estructuras de ferrocemento.

Bajo esta premisa, los siguientes factores afectan la durabilidad de las estructuras de Ferrocemento:

✓ Recubrimiento

La capa de cubierta, es pequeña y por consecuencia es relativamente fácil ser alcanzada por líquidos corrosivos al refuerzo. Masood et al, 2003, concluyeron que la adición de ceniza volátil en diferentes ambientes afecta la capacidad de carga bajo flexión, en paneles con malla de alambre hexagonal y tejida; la resistencia del panel se incrementa con la dosificación de ceniza volátil en fundiciones y condiciones de curado salinos.

A pesar de existir un deterioro considerable de la malla de alambre debido a la exposición del ambiente salino, la resistencia mayor que para fundiciones normales y en condiciones de curado salino, debido principalmente a que se presenta una mejor estructura del poro minimizando el ingreso de agua, debido a la presencia ceniza volante y agua salina durante la fundición (Ver figuras 14, 15, 16, 17) [Masood et al. 2003].

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

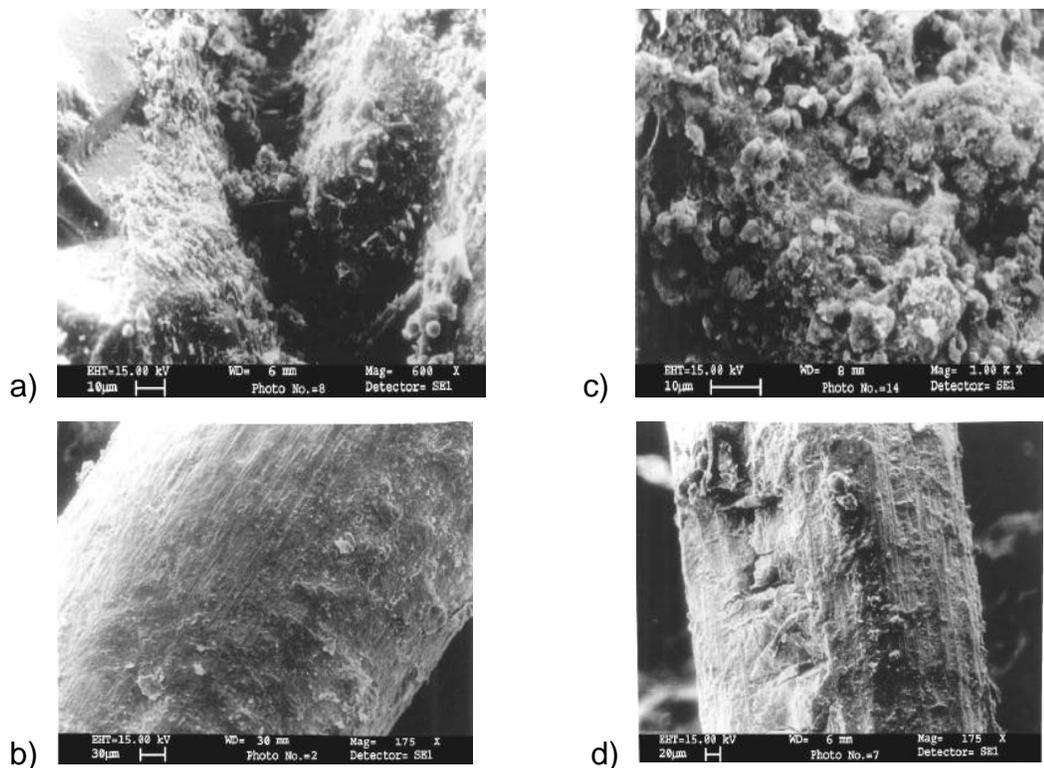


Figura 14. a) Matriz mortero cemento sin ceniza volante. b) Malla de alambre en un ambiente no salino c) Matriz mortero cemento con ceniza volante. d) Deterioro de la malla de alambre en un ambiente salino. Fuente: Massod et al. 2003.

✓ Cantidad y calidad del refuerzo

El área de la superficie del refuerzo es alta inicialmente, así el área de contacto sobre el cual la corrosión reacciona puede tomar lugar y los resultados de porcentaje de corrosión son potencialmente altos.

Aunque el refuerzo de acero utilizado en ferrocemento es generalmente galvanizado y suprime la corrosión, pero la capa de zinc puede tener ciertos efectos adversos de generación de burbujas de gas. Todos estos factores asumen una variedad de grados de importancia, dependiendo de la condición de exposición en la naturaleza.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

✓ Calidad del mortero

La integridad del mortero es el factor más importante para evitar el ataque del refuerzo. Causas internas como la reacción alcalina del agregado, variaciones volumétricas y sobre todo a la permeabilidad del mortero. Pruebas de permeabilidad efectuadas en ferrocemento, muestran que la absorción de la humedad es casi insignificante y puede reducirse aún más con el uso de aditivos.

✓ Medio ambiente

Una mención aparte es el caso del factor corrosión, la cual puede ser producida por el medio ambiente al cual se encuentra expuesto el ferrocemento. Las causas externas pueden ser físicas, químicas o mecánicas, pueden deberse al intemperismo, temperaturas extremas, abrasión, a la acción electrolítica, ataque de gases y líquidos naturales o industriales.

La congelación y el deshielo son factores importantes que también deben tomarse en cuenta con relación a la durabilidad. Estudios realizados nos indican que la adición de puzolanas.

❖ Corrosión

Todas las estructuras de ferrocemento están sujetas a ser atacadas por corrosión, siempre que existan los medios adecuados para que esta se origine. El riesgo de corrosión de dichas estructuras en comparación con las estructuras de concreto reforzado convencional es aún mayor, debido a la extrema delgadez del recubrimiento del mortero sobre el refuerzo de acero.

Para estructuras marinas de ferrocemento se recomienda que mortero sea fabricado con cemento Portland que contenga no más del 8% de aluminato tricálcico, a este requerimiento se adecuan los cementos tipo II y V; además una baja relación agua-cemento y la inclusión de aire, aumenten la resistencia al ataque de agua de mar.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

5.4. Aplicaciones del ferrocemento y sus utilidades

A pesar de la evidencia que el ferrocemento era un sistema bueno y económico para la construcción, empezó a tener una cierta aceptación hasta la década de los 60, en la que hubo una expansión por todo el mundo en la utilización de este material.

Desde que el ferrocemento ha logrado ofrecer un alto ratio resistencia a tracción- peso y un mejor comportamiento frente a rotura, resulta especialmente adecuado para estructuras de pared delgada como barcos o estructuras para el almacenamiento de agua. A continuación se van a describir brevemente las posibles aplicaciones del ferrocemento y los resultados obtenidos en experiencias anteriores.

5.4.1. Barcos

Prácticamente en todos los países del mundo se han construido barcos de ferrocemento. De entre ellos destaca China, donde se han introducido a gran escala.



Figura 15. Construcción de barcos con ferrocemento, uno de los primeros diseños a base de dicho material. Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

5.4.2. Tanques

En los países subdesarrollados es importante el almacenamiento de grano como lo tiene el almacenar agua potable, por esto en este tipo de países han sido exploradas las posibilidades del ferrocemento para la construcción de tanques, aunque también en países desarrollados, los tanques de ferrocemento son una alternativa atractiva para el almacenamiento de agua potable. En Nueva Zelanda, se construyen en fábricas pequeños tanques de aproximadamente 19m³ (Ver figura 16).



Figura 16. Elaboración de tanque a base de ferrocemento, colocación de la malla y concreto para el tanque. Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

5.4.3. Silos

En la mayoría de las granjas y pequeñas poblaciones de los países subdesarrollados no existen adecuadas instalaciones para almacenar grano. Por ejemplo, se sabe que en Tailandia más del 25% del arroz se pierde debido a los pájaros, roedores, hongos e insectos principalmente. Además de que el ferrocemento es impermeable, con una fabricación adecuada se puede lograr que sea hermético (Ver figura 17).

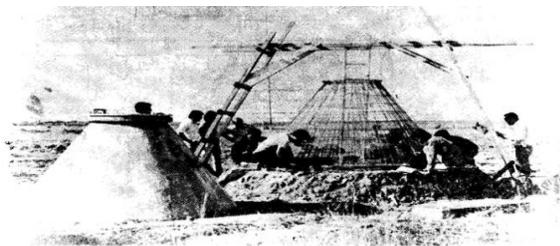


Figura 17. Silos de ferrocemento para granos. Fuente: Conceptos generales de ferrocemento

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

5.4.4. Viviendas

El ferrocemento tiene una amplia aplicación en la edificación de viviendas, ya que muchos de sus elementos constructivos son posibles de hacerlos con este material; encontrándose lo siguiente: elementos prefabricados (figura 18), paneles para paredes [Carrasco & Soto 2003], paneles aligerados, hojas corrugadas para cubiertas, cascarones para cubiertas, pisos aligerados, protectores solares y piscinas [Wainshtok 1998]).



Figuras 18. Elementos constructivos elaborados en ferrocemento, aplicados en la construcción de vivienda. Fuente: Conceptos generales del ferrocemento.

5.5. Construcción de paredes de ferrocemento

5.5.1. Materiales que constituyen las paredes de ferrocemento

- 1- Malla hexagonal
- 2- Hierro corrugado de 3/8
- 3- Alambre de amarre galvanizado N°16
- 4- Mortero con dosificación:
 - a) Cemento
 - b) Arena

Agua de acuerdo a la consistencia del mortero que se desea obtener entre menos agua se agregue a esta etapa más resistente será la mezcla, debe lograrse que el mortero tome una condición trabajable.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

5.5.2. Proceso constructivo de paredes de ferrocemento

- 1- Se construye el acero de armazón con varillas de hierro corrugado de 3/8, obteniendo así el armazón de la estructura, estas varillas se distribuyen uniformemente y se separan a hasta una distancia de 30 cm, considerándose como soporte de la malla de refuerzo.
- 2- Colocación de la malla de refuerzo (Hexagonal): La función principal de esta malla es la de actuar como marco para sostener el mortero en estado fresco, así como absorber los esfuerzos de tensión en el estado endurecido que el mortero por sí solo no podría soportar. Estas mallas deben de ser lo suficiente flexibles para poder doblarlas en las esquinas agudas.

La malla de alambre hexagonal es el más popular, económico como de fácil manejo, se le conoce comúnmente como malla de alambre o de gallinero y su diámetro se encuentra entre 0.5 a 1 mm. La malla de alambre utilizada en ferrocemento por lo general tiene un diámetro de 0.5 a 5 mm y las aberturas varían de 0.5 a 2.5 cm.

Se coloca cada capa de malla en el acero del armazón, donde las uniones generalmente se amarran con alambre de acero a cada 30 cm. Es importante dejar que la malla se acomode por sí misma en cuanto sea posible, aunque esto signifique un traslape mayor en algunas partes, la longitud de traslape entre mallas varía entre 25 a 30 cm.

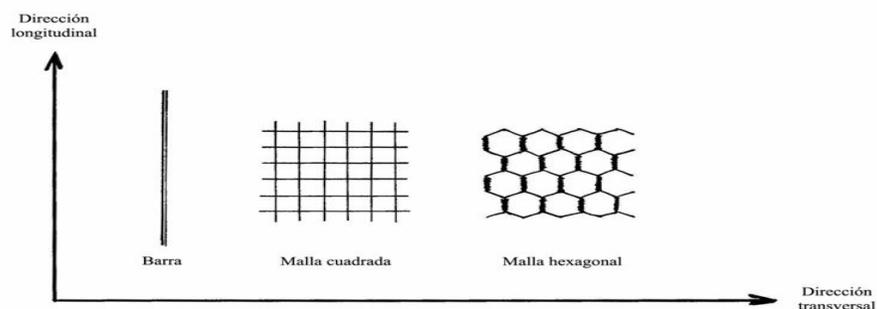


Figura 19. Tipos de refuerzo según su forma y su disposición. Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Una vez que se amarra la estructura para paredes se procede a la elaboración del mortero.

- 3- En la preparación del mortero se emplea una proporción en peso de cemento-arena que consiste en una parte de cemento con una dosificación 1:2 la relación agua-cemento en peso debe mantenerse lo más bajo posible para darle al material calidad y trabajabilidad consistente.
- 4- Aplicación del mortero: el mortero generalmente se coloca a través del enlucido a mano (repello a mano), en este proceso el mortero es forzado a través de la malla, la aplicación de mortero a mano ha resultado ser el medio más conveniente, se utiliza los dedos y las palmas para aplicar el mortero sobre la estructura formada por la malla de alambre, debido a lo compacto de la mezcla el mortero permanece en su posición después de colocado. Este debe ser untado cuidadosamente a la estructura y no ser lanzado bruscamente para que se adhiera a la malla como una pasta dando así el recubrimiento de las paredes, el recubrimiento debe ser con un espesor que oscile entre los 0.15 cm a 1.25 cm.

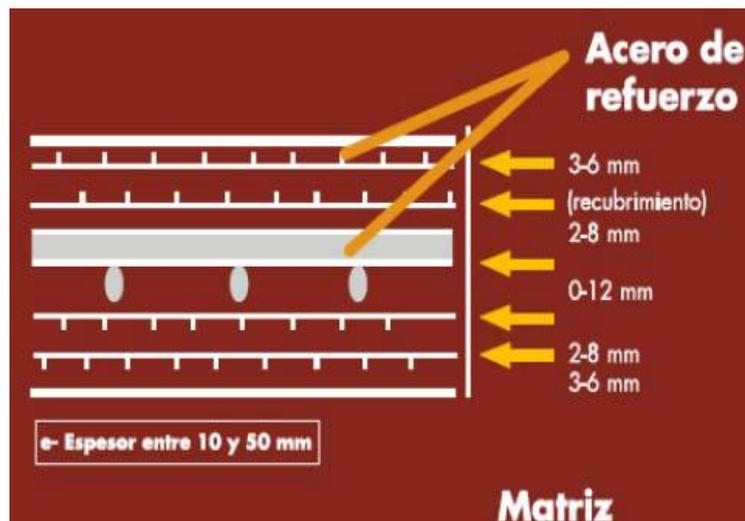


Figura 20. Esquematación de una lámina de ferrocemento. Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

VI. ANALISIS SÍSMICO

6.1. Concepción estructural

6.1.1. Descripción general del sistema constructivo

El sistema estructural formado por una estructura de concreto tipo marco de 3 niveles o pisos, con encerramiento de paredes de ferrocemento. El sistema tipo marco está compuesto en sus direcciones ortogonales por vigas y columnas de concreto. La estructura funcionara como vivienda multifamiliar.

Clasificación	Área	Altura
1 ^{er} nivel	127.5 m ²	3 m
2 ^{do} nivel	127.5 m ²	3 m
3 ^{er} nivel	127.5 m ²	3 m
Total	382.5 m²	9m

Tabla 4. Descripción de la estructura. Fuente: Elaboración propia.

Diafragma a nivel de techo: Rígido (Cubierta de ferrocemento)

Diafragma a nivel de entrepiso: Rígido (Losa de concreto)

6.1.2. Sistema sismoresistente

El sistema resistente a fuerzas laterales lo componen marcos de concreto, apoyados ortogonalmente entre sí. En este sistema los marcos resisten las fuerzas inerciales tanto en el plano paralelo como perpendicular.

6.1.3. Método de análisis

Para el análisis sísmico, usamos el método estructural Kani que es un método de aproximaciones sucesivas, lo que acontece que los marcos estructurales rara vez se encuentran apoyados de tal manera que sus nudos no sufran desplazamiento y en particular desplazamientos laterales, el desplazamiento lateral de un marco puede ocurrir por varias causas, entre las que se puede mencionar la aplicación

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

de cargas laterales, sismo o viento y aún bajo cargas gravitacionales tales como el peso propio y la carga viva; este tipo de desplazamiento puede ocurrir debido a la asimetría de las cargas verticales, asimetría geométrica del marco en sí, o asimetría de rigideces de los miembros del marco. El análisis de marcos de varios pisos requiere la manipulación de un elevado número de variables por tratarse de estructuras altamente hiperestáticas.

En la literatura técnica se suelen encontrar diferentes procedimientos para efectuar dicho análisis, de los cuales los métodos de aproximaciones sucesivas gozan de gran popularidad en el caso de utilizarse un procedimiento manual para resolver las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad.

Sin embargo, con la accesibilidad a computadoras digitales, los procedimientos matriciales reducen la carga operacional al analista de estructuras aunque normalmente requieren la utilización de programas más o menos sofisticados y el empleo de computadoras con elevada capacidad de memoria. Nos apoyamos en el software de análisis y diseño SAP 2000, los estados límites de servicios los verificamos según las indicaciones de la RNC 07.

6.1.4. Clasificación de la estructura

Ver Arto. 45 RNC 07, la edificación se clasifico como estructura Tipo 1, debido a que la relación entre su altura y dimensión menor en planta es menor de 5.

Calculo de la velocidad regional V_R ver Arto. 50 RNC 07

- Por su destino: Grupo B
- Zona: 1
- Periodo de retorno: 50 años
- V_R ver tabla 5 (RNC 07) = 30 m/s

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

6.1.5. Acción sísmica

Para cuantificar la respuesta inercial de la estructura ante aceleraciones del terreno a través del método estructural Kani, es necesario determinar el coeficiente sísmico, el cual depende de diversos factores:

La norma a aplicar en este caso será RNC 07: “Reglamento Nacional de construcción” y según la norma las solicitaciones sísmicas dependen de:

- Zona sísmica: Ver Arto. 24 figura 2 del RNC 07, Sabana grande - Managua pertenece a una zona sísmica C.
- Efecto del suelo de fundación: El tipo de suelo a considerar para el análisis será el de tipo II ver Arto. 25 RNC 07.
- Clasificación del edificio: Según la norma este edificio pertenece al grupo B destinada a la habitación privada ver Arto. 20 RNC 07.
- Materiales a utilizar: Existen factores que modifican la respuesta del edificio, estos factores dependen del material con el cual está construido el edificio.
- Número de pisos: 3

VII. MEMORIA DE CÁLCULO

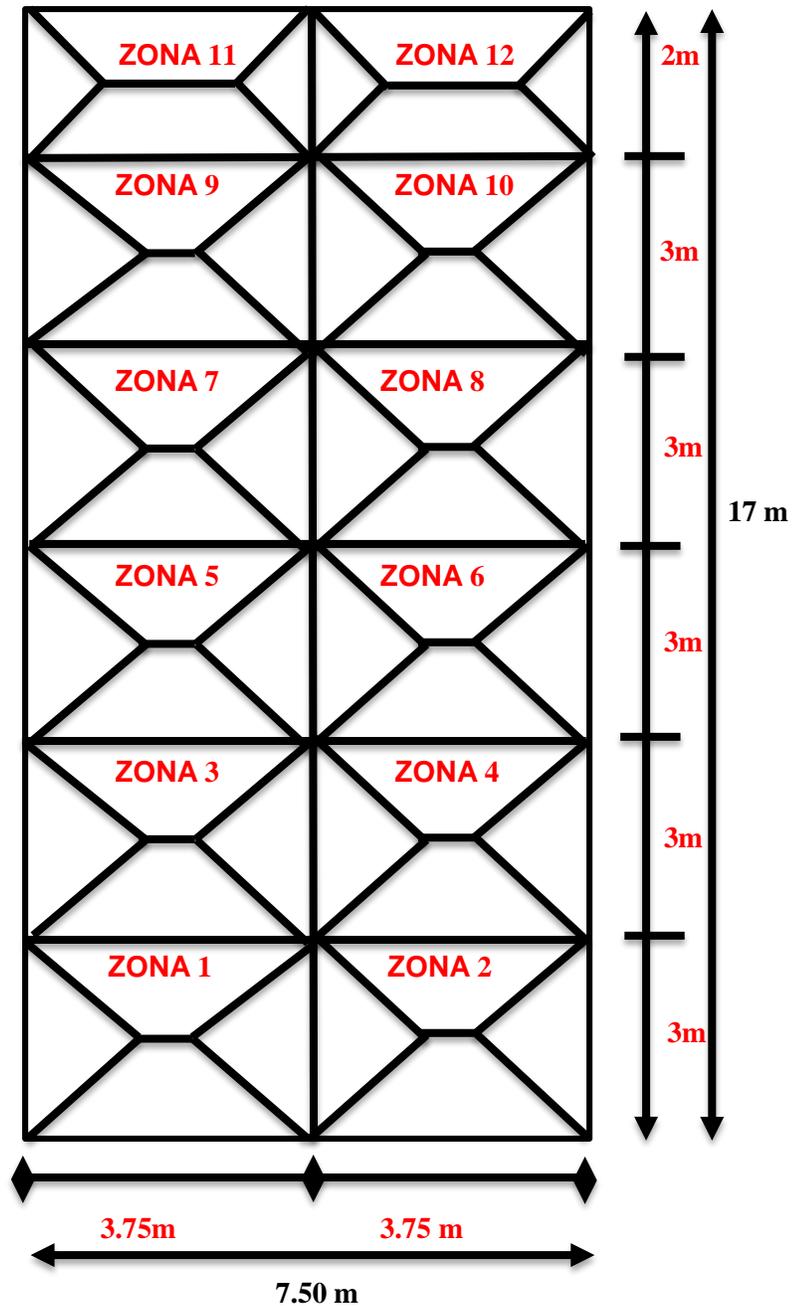


Figura 21. Gráfico de distribución por zona de la estructura. Fuente: Elaboración propia.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

7.1. Cálculo de área tributaria total

$$A_{T_t} = B \times L; \quad A_{T_t} = 7.50\text{m} \times 17\text{m}$$

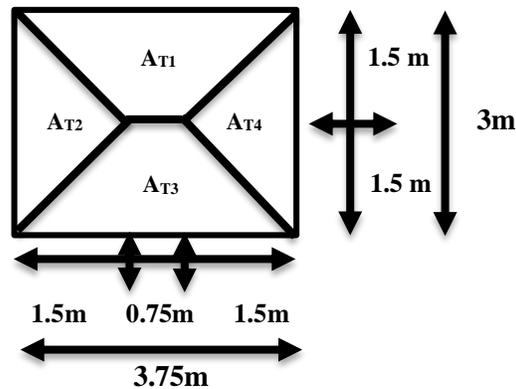
$$A_{T_t} = 127.5\text{m}^2$$

Cálculo de áreas tributaria para cada zona

$$B_{menor} = L_{mayor} - L_{menor}; \quad B_{menor} = 3.75\text{m} - [(1.5\text{m})(2)]$$

$$B_{menor} = 0.75\text{m}$$

Zona 1:



Área del trapecio

$$A_t = \frac{(B_m + B_M)}{2} (h)$$

$$A_{T_1} = \frac{(0.75\text{m} + 3.75\text{m})}{2} (1.5\text{m})$$

$$A_{T_1} = 3.375 \text{ m}^2 \times 2$$

$$A_{T_1} = 6.75 \text{ m}^2$$

$$A_{T_1} = A_{T_3}$$

Área del triángulo

$$A_{T_2} = \frac{(b \times h)}{2}; \quad A_{T_2} = \frac{(3\text{m} \times 1.5\text{m})}{2}$$

$$A_{T_2} = 2.25 \text{ m}^2 \times 2$$

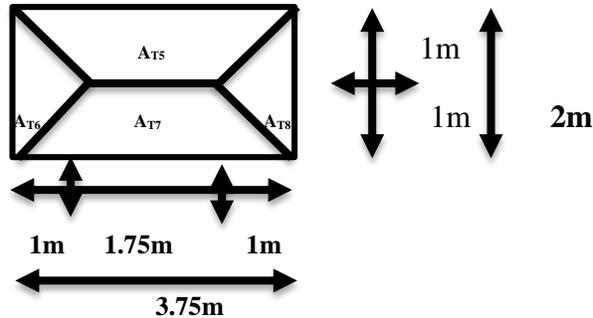
$$A_{T_2} = 4.5 \text{ m}^2$$

$$A_{T_2} = A_{T_4}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Nota: El área tributaria de la zona 1 para los trapecios será la misma hasta la zona 10 así como el área del triángulo respectivamente.

Zona 11



Área del trapecio

$$A_t = \frac{(B_m + B_M)}{2} (h); \quad A_{T_5} = \frac{(3.75\text{m} + 1.75\text{m})}{2} (2\text{m})$$

$$A_{T_5} = 5.5 \text{ m}^2$$

$$A_{T_5} = A_{T_7}$$

Área del triángulo

$$A_{T_2} = \frac{(b \times h)}{2}; \quad A_{T_6} = \frac{(1\text{m} + 2\text{m})}{2}$$

$$A_{T_6} = 1.5 \text{ m}$$

$$A_{T_6} = A_{T_8}$$

Nota: El área tributaria de la zona 11 para el trapecio de la zona 12 es el mismo, así como el área del triángulo respectivamente.

7.2. Diseño de Losas

7.2.1. Losa de techo

Datos:

Losa de techo con espesor de $t = 8\text{cm} \approx 0.08 \text{ m}$

Peso del concreto $W_{\text{conc}} = 2.4 \text{ t/m}^3$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Cálculo de la carga muerta (CM)

$$CM = t \times W_{conc}$$

$$CM = 0.08m \times 2.4 \text{ t/m}^3$$

$$CM = 0.192 \text{ t/m}^2$$

Impermeabilizante Imp. = 0.06 t/m^2

Techo de losa con pendiente no mayor del 5% tomada de la tabla 1 del RNC art. 10 donde se escoge la carga incidental (CVR)

$$CVR = 0.04 \text{ t/m}^2$$

Cálculo del peso total de la losa

$$W = CM + Imp. + CVR$$

$$W = 0.192 \text{ t/m}^2 + 0.06 \text{ t/m}^2 + 0.04 \text{ t/m}^2$$

$$W = 0.292 \text{ t/m}^2$$

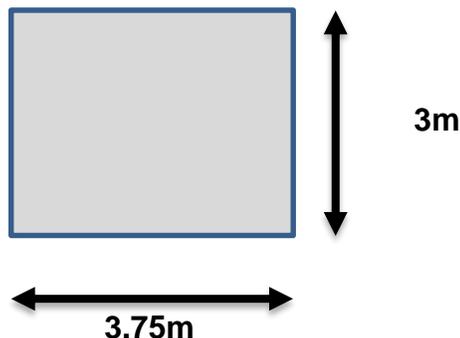
Cálculo de la carga distribuida

$$\omega_1 = \frac{(A_{T1})(W)}{L}; \quad \omega_1 = \frac{(6.75m^2)(0.292 \text{ t/m}^2)}{3.75m}$$

$$\omega_1 = 0.526 \text{ t/m}$$

7.2.2. Losas de entepiso

Cálculo del espesor de losa de entepiso, por el método de diseño de losa en una dirección.



$$\text{Perimetro} = 2b + 2h$$

$$\text{Perimetro} = 2(3.75m) + 2(3m)$$

$$\text{Perimetro} = 13.50m \approx 1350 \text{ cm}$$

$$\text{Perimetro} = 1350 \text{ cm}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Espesor

$$t = \frac{\text{perimetro}}{180}; \quad t = \frac{1350\text{cm}}{180}$$

$$t = 7.5 \text{ cm} \approx 8\text{cm}$$

Nota: Se toma un espesor de $t = 12 \text{ cm}$ preferiblemente para dar mayor resistencia a la estructura de entrepiso.

7.2.1.1. Losa de entrepiso del 2^{do} nivel

Datos:

Losa de entrepiso con espesor $t = 12 \text{ cm} \approx 0.12 \text{ m}$

Cálculo de la carga muerta (CM)

$$CM = t \times W_{\text{conc}}$$

$$CM = 0.12\text{m} \times 2.4 \text{ t/m}^3$$

$$CM = 0.288 \text{ t/m}^2$$

Peso de la cerámica $W_{\text{ceram.}} = 0.03 \text{ t/m}^2$

Carga viva: Tomada de la tabla 1 del RNC art. 10 donde se escoge la carga viva máxima (CV) $CV = 200 \text{ kg/m}^2$

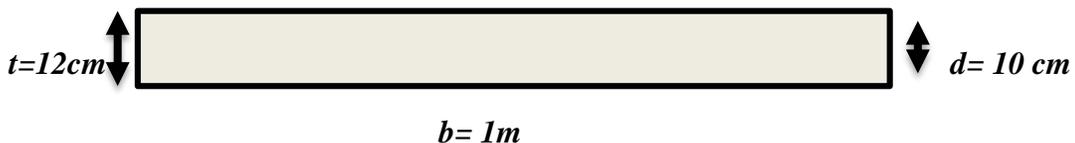
Cálculo del peso total de la losa de entrepiso

$$W = CM + W_{\text{ceram.}} + CV$$

$$W = 0.288 \text{ t/m}^2 + 0.03 \text{ t/m}^2 + 0.2 \text{ t/m}^2$$

$$W = 0.518 \text{ t/m}^2$$

Acero de refuerzo en la losa



En el sentido corto: 3m

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$M = \frac{\omega l^2}{8}$$

$$M = \frac{(0.518 \text{ t/m}^2)(3)^2}{8}$$

$$M = 0.5828 \text{ t.m} \approx 58,280 \text{ kg.cm}$$

$$M = Rbd^2 ; \quad R = \frac{M}{bd^2}$$

$$R = \frac{58,280 \text{ kg.cm}}{(100\text{cm})(10\text{cm})^2}$$

$$R = 5.8280 \text{ kg/cm}^2$$

$$p = 0.004; \quad n = 10; \quad np = 0.04$$

$$2np = 0.08; \quad (np)^2 = 0.0016; \quad \Sigma = 0.0816$$

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$k = \sqrt{0.0816} - 0.04$$

$$k = 0.246$$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$j = 1 - \frac{0.246}{3}$$

$$j = 0.918$$

Capacidad resistente:

$$R = \frac{f'_c}{2} kj$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Para concreto de 210 kg/cm^2 entonces $f'_c = \frac{2}{3}(210 \text{ kg/cm}^2) = 140 \text{ kg/cm}^2$

$$R = \frac{140 \text{ kg/cm}^2}{2} (0.165)(0.828)$$

$$R = 29.94 \text{ kg/cm}^2$$

Acero de la losa $A_s = pbd$

$$A_s = (0.004)(100\text{cm})(10\text{cm})$$

$$A_s = 4\text{cm}^2 \quad \mathbf{6\#3 (4.27\text{cm}^2)}$$
 Cada 16cm una varilla #3

Separación entre varillas

$$S = \frac{LA_v}{A_s}; \quad S = \frac{(100\text{cm})(0.71\text{cm}^2)}{4\text{cm}^2}$$

$$S = 17.75 \text{ cm} \text{ usamos el valor menor por seguridad}$$

Colocar acero por contracción y temperatura para prevenir agrietamiento en la losa encima del acero estructural.

$$A_{CT} = pbd$$

$$A_{CT} = (0.0018)(100\text{cm})(10\text{cm}); \quad A_{CT} = 1.8 \text{ cm}^2$$

$$S = \frac{(100\text{cm})(0.71\text{cm}^2)}{1.8\text{cm}^2}$$

$$S = 39.44 \text{ cm} \quad \mathbf{\#3 a 24 \text{ cm desencostrar a 7 dias}}$$

Cálculo de la carga distribuida

$$\omega_2 = \frac{(A_{T_1} + A_{T_3})(W)}{L}; \quad \omega_2 = \frac{(3.375\text{m}^2 + 5.5\text{m}^2)(0.518 \text{ t/m}^2)}{3.75\text{m}}$$

$$\omega_2 = 1.226 \text{ t/m}$$

Nota: Para el diseño de losa del 1^{er} nivel se tomara la de entepiso del 2^{do} nivel como referencia, donde la carga distribuida será el doble de la anterior donde obtendremos: $\omega_3 = 1.226 \text{ t/m} (2)$

$$\omega_3 = 2.452 \text{ t/m}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

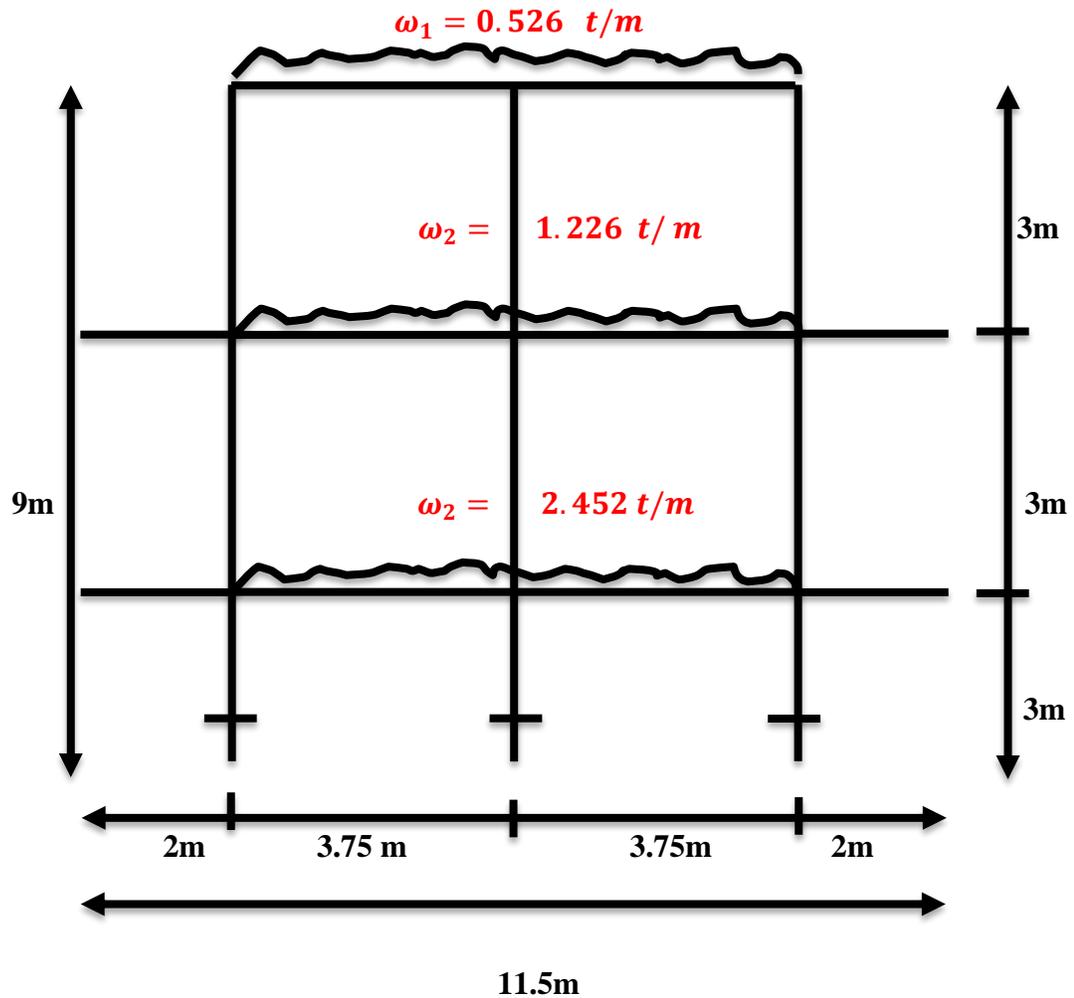


Figura 22. Gráfico de cargas distribuidas en la estructura. Fuente: Elaboración propia

7.3. Cálculo de las fuerzas horizontales, sísmicas y eólicas

Cálculo del área total

$$Area = (B) \times (L); Area = (7.50m) \times (17m)$$

$$Area = 127.5 \text{ m}^2$$

Estimación del cálculo del peso de carga distribuida por nivel

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$W = \omega \times A; \quad W_1 = 0.526 \frac{t}{m} \times 127.5 \, m^2 \times 1.1, \quad W_1 = 73.772 \, t.m$$

$$W_2 = 1.226 \frac{t}{m} \times 127.5 \, m^2 \times 1.2, \quad W_2 = 187.578 \, t.m$$

$$W_3 = 2.452 \frac{t}{m} \times 127.5 \, m^2 \times 1.3, \quad W_3 = 406.419 \, t.m$$

Cálculo del peso total de carga distribuida en el área

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3$$

$$W_T = 73.772 \, t.m + 187.578 \, t.m + 406.419 \, t.m$$

$$W_T = 667.769 \, t.m$$

Cálculo del coeficiente sísmico

Fórmula tomada del art. 24 del RNC capítulo III del análisis estructural

$$C = \frac{V_0}{W_0} = \frac{S(2.7 \times a_0)}{Q' \times \Omega} \text{ pero nunca menor } (S)(a_0)$$

El valor de a_0 se encuentra en la Fig. 2 de zonificación sísmica de Nicaragua, donde nuestra estructura es del grupo B especificada en el art. 20 inciso b y está ubicada en la zona C entonces el valor de $a_0 = 0.3$

El valor de Q' se fijan en el art. 27 del RNC y este se calculara de la siguiente formula:

$$Q' = Q \text{ si se desconoce } T \text{ o si } T > T_a$$

$$Q' = 1 + \frac{T}{T_a}(Q - 1) \quad T \leq T_a$$

En nuestro caso se desconoce T entonces el valor de Q' será Q que se adopta de acuerdo al art. 21 del RNC observando que se cumplan los requisitos de este, obteniendo que nuestro valor de $Q = 4$

El factor de reducción por sobreesistencia se obtiene del art. 22 del RNC y se obtiene que $\Omega = 2$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

El valor de influencia del suelo y del periodo del edificio se obtiene en el art. 25 del RNC de acuerdo a la característica del terreno, donde nuestro tipo de suelo es Tipo II y se determina que nuestro factor de amplificación por el tipo de suelo $S = 1.5$ perteneciente a la zona sísmica C.

Entonces el cálculo se procede así:

$$C = \frac{1.5(2.7 \times 0.3)}{4 \times 2}$$

$$C = 0.152$$

Pero $(S)(a_0) = 0.45$ mayor que C entonces tomaremos que $C = 0.45$

$$F_S = C \times W_T$$

$$F_S = 0.45 \times 667.769 \text{ t.m}$$

$$F_S = 300.496 \text{ t.m}$$

Se procede a dividir por el número de niveles de la estructura

$$F_S = \frac{300.496 \text{ t.m}}{3}$$

$$F_S = 100.165 \text{ t.m}$$

H por el nivel de cimentación

$$H_1 = 9\text{m}, H_2 = 6\text{m}, H_3 = 3\text{m}$$

Se multiplica los pesos de carga distribuida de área por la altura de cada nivel

$$\Sigma W \times H = W \times H$$

$$W_1 \times H_1 = 73.772 \text{ t.m} \times 9\text{m}$$

$$W_1 \times H_1 = 663.948 \text{ t.m}^2$$

$$W_2 \times H_2 = 187.578 \text{ t.m} \times 6\text{m}$$

$$W_2 \times H_2 = 1125.468 \text{ t.m}^2$$

$$W_2 \times H_2 = 406.419 \text{ t.m} \times 3\text{m}$$

$$W_2 \times H_2 = 1219.257 \text{ t.m}^2$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$\Sigma W \times H = W_1 H_1 + W_2 H_2 + W_3 H_3$$

$$\Sigma W \times H = 663.948 t.m^2 + 1125.468 t.m^2 + 1219.257 t.m^2$$

$$\Sigma W \times H = 3008.673 t.m^2$$

Cálculo de la fuerza horizontal para cada nivel

$$F_H = \frac{F_S}{\Sigma W \times H}; \quad F_H = \frac{100.165 t.m}{3008.673 t.m^2}$$

$$F_H = 0.033 m$$

$$F_{H_1} = F_S \times (W_1 \times H_1); \quad F_{H_1} = 0.033 m \times 663.948 t.m$$

$$F_{H_1} = 22.104 t.m^2 \approx 22.1 t$$

$$F_{H_2} = F_S \times (W_2 \times H_2); \quad F_{H_2} = 0.033 m \times 1125.468 t.m$$

$$F_{H_2} = 37.469 t.m^2 \approx 37.5 t$$

$$F_{H_3} = F_S \times (W_3 \times H_3); \quad F_{H_3} = 0.033 m \times 1219.256 t.m$$

$$F_{H_3} = 40.592 t.m^2 \approx 40.6 t$$

Comprobación

$$\Sigma F_H = F_{H_1} + F_{H_2} + F_{H_3}$$

$$\Sigma F_H = 22.104 t + 37.469 t + 40.592 t$$

$$\Sigma F_H = 100.165 t$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

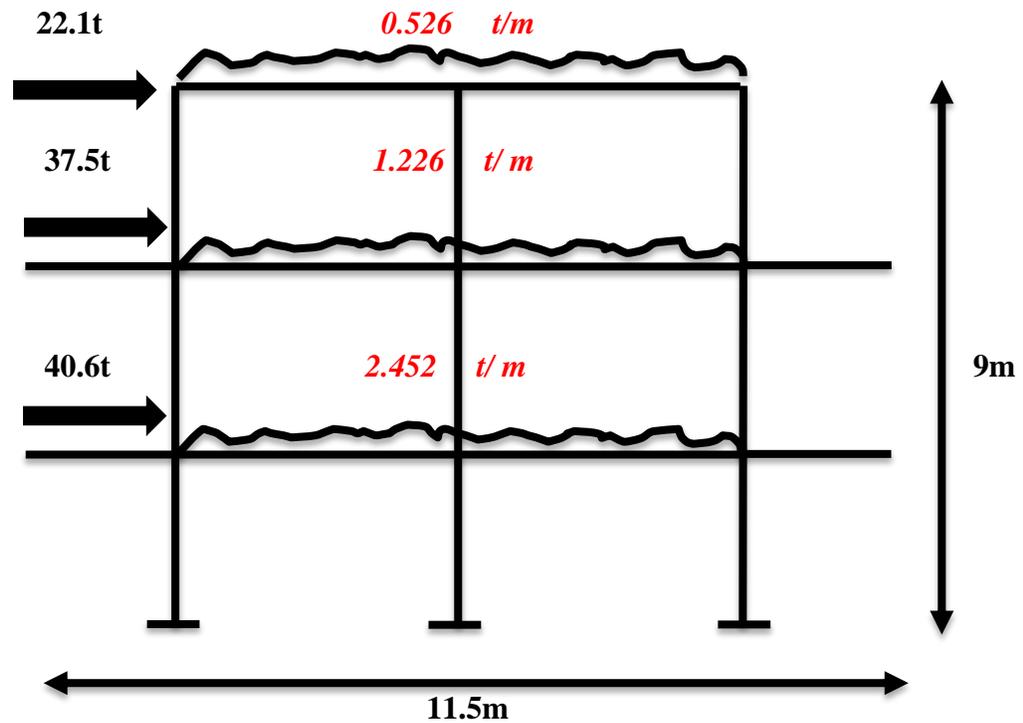


Figura 23. Gráfico de las fuerzas horizontales y cargas distribuidas. Fuente: Elaboración propia.

Análisis del marco estructural con desplazamiento lateral

$$M_S = \frac{(Cte. de piso)(h_{piso})}{3}; \quad M_{S_1} = \frac{(22.104t)(3m)}{3}$$

$$M_{S_1} = 22.104 \text{ t.m}$$

$$M_{S_2} = \frac{(37.469t)(3m)}{3}$$

$$M_{S_2} = 37.469 \text{ t.m}$$

$$M_{S_3} = \frac{(40.592t)(3m)}{3}$$

$$M_{S_3} = 40.592 \text{ t.m}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Proponiendo el momento máximo de la estructura en el diseño para encontrar la rigidez de columna y viga

$$M = \frac{\omega \times l^2}{8}; \quad M = \frac{(2.452 \text{ t/m}) \times (3.75\text{m})^2}{8}$$

$$M = 4.310 \text{ t/m} \approx 431,015.625 \text{ kg/cm}$$

$$bh^2 = \frac{6M}{\sigma}; \quad bh^2 = \frac{6(431,015.625 \text{ kg/cm})}{210 \text{ kg/cm}^2}$$

$$bh^2 = 12,314.732 \text{ kg}^2/\text{cm}^3$$

Proponiendo $b = 20 \text{ cm}$ y despejando h nos da

$$h = \sqrt{\frac{12,314.732 \text{ kg}^2/\text{cm}^3}{20 \text{ cm}}}$$

$$h = 24.814 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

Para la viga $b = 20 \text{ cm}$ $h = 25 \text{ cm}$

Para la columna proponemos $b = 30 \text{ cm}$ $h = 25 \text{ cm}$

Dimensiones

Viga $b = 20 \text{ cm}$ $h = 25 \text{ cm}$ $l = 337.5 \text{ cm}$

Columna $b = 30 \text{ cm}$ $h = 25 \text{ cm}$ $l = 300 \text{ cm}$

Cálculo de la rigidez para viga y columna

$$k = \frac{b(h)^3}{12l}$$

$$k = \frac{20\text{cm}(25\text{cm})^3}{12(337.5 \text{ cm})} \quad k = 77.16 \text{ cm}^3$$

$$k = \frac{30\text{cm}(25\text{cm})^3}{12(300\text{cm})} \quad k = 130.208 \text{ cm}^3$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Para viga

$$k_v = \frac{77.16cm^3}{77.16cm^3} \quad k_v = 1$$

Para columna

$$k_c = \frac{130.208cm^3}{77.16cm^3} \quad k_c = 1.688 \approx 1.7$$

$$k_c = 1.7$$

Nota: Para la rigidez en los otros puntos de viga y columna de la estructura habrá un incremento debido a que tendrán que ser mayores a las encontradas primeramente para dar mayor resistencia a la estructura.

7.4. Cálculo de los momentos iniciales

$$M = \frac{\omega \times l^2}{12}; \quad M_{1-2} = \frac{(0.526 \text{ t/m})(3.75m)^2}{12}$$

$$M_{1-2} = -0.6164 \text{ t/m} \text{ donde el } M_{2-1} = 0.6164 \text{ t/m}$$

$$M_{2-3} = \frac{(0.526 \text{ t/m})(3.75m)^2}{12}$$

$$M_{2-3} = -0.6164 \text{ t/m} \text{ donde el } M_{3-2} = 0.6164 \text{ t/m}$$

$$M_{4-5} = \frac{(1.226 \text{ t/m})(3.75m)^2}{12}$$

$$M_{4-5} = -1.4367 \text{ t/m} \text{ donde el } M_{5-4} = 1.4367 \text{ t/m}$$

$$M_{4-5} = \frac{(1.226 \text{ t/m})(3.75m)^2}{12}$$

$$M_{5-6} = -1.4367 \text{ t/m} \text{ donde el } M_{6-5} = 1.4367 \text{ t/m}$$

$$M_{7-8} = \frac{(2.452 \text{ t/m})(3.75m)^2}{12}$$

$$M_{7-8} = -2.8734 \text{ t/m} \text{ donde el } M_{8-7} = 2.8734 \text{ t/m}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$M_{8-9} = \frac{2.452 \text{ t/m})(3.75\text{m})^2}{12}$$

$$M_{8-9} = -2.8734 \text{ t/m donde el } M_{9-8} = 2.8734 \text{ t/m}$$

Momento en voladizo

$$M = \frac{\omega \times l^2}{2}; \quad M_{volad.} = \frac{(1.226 \text{ t/m})(2\text{m})^2}{12}$$

$$M_{volad.} = 2.4520 \text{ t/m}$$

7.4.1. Cálculo de factores Kani para columnas inferiores

Punto 1: $\Sigma k = (1 + 1.7)(2) = 5.4$

$$k_{v_{1-2}} = -1/5.4 \quad k_{c_{1-4}} = -1.7/5.4$$

Punto 2: $\Sigma k = (1 + 2 + 1)(2) = 8$

$$k_{v_{2-1}} = -1/8 \quad k_{c_{2-5}} = -2/8 \quad k_{v_{2-3}} = -1/8$$

Punto 3: $\Sigma k = (1 + 1.7)(2) = 5.4$

$$k_{v_{3-2}} = -1/5.4 \quad k_{c_{3-6}} = -1.7/5.4$$

Punto 4: $\Sigma k = (1.7 + 1.5 + 2.7)(2) = 11.8$

$$k_{c_{4-1}} = -1.7/11.8 \quad k_{v_{4-5}} = -1.5/11.8 \quad k_{c_{4-7}} = -2.7/11.8$$

Punto 5: $\Sigma k = (1.5 + 2 + 1.5 + 2)(2) = 16$

$$k_{v_{5-4}} = -1.5/16 \quad k_{c_{5-2}} = -2/16 \quad k_{v_{5-6}} = -1.5/16 \quad k_{c_{5-8}} = -2/16$$

Punto 6: $\Sigma k = (1.7 + 1.5 + 2.7)(2) = 11.8$

$$k_{c_{6-3}} = -1.7/11.8 \quad k_{v_{6-5}} = -1.5/11.8 \quad k_{c_{6-9}} = -2.7/11.8$$

Punto 7: $\Sigma k = (2.7 + 2 + 4)(2) = 17.4$

$$k_{c_{7-4}} = -2.7/17.4 \quad k_{v_{7-8}} = -2/17.4 \quad k_{c_{7-10}} = -4/17.4$$

Punto 8: $\Sigma k = (2 + 3 + 2 + 5)(2) = 24$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$k_{v_{8-7}} = -2/24 \quad k_{c_{8-5}} = -3/24 \quad k_{v_{8-9}} = -2/24 \quad k_{c_{8-11}} = -5/24$$

Punto 9: $\Sigma k = (2.7 + 2 + 4)(2) = 17.4$

$$k_{c_{9-6}} = -2.7/17.4 \quad k_{v_{9-8}} = -2/17.4 \quad k_{c_{9-12}} = -4/17.4$$

Corrección de columna

$$\Sigma_{columna \text{ inf.}} = 1.7 + 2 + 1.7 = 5.4$$

punto 1 $k = \frac{1.7}{5.4}(1.5) = 0.4722$

punto 2 $k = \frac{2}{5.4}(1.5) = 0.5556$

punto 3 $k = \frac{1.7}{5.4}(1.5) = 0.4722$

$$\Sigma_{columna \text{ inf.}} = 2.7 + 3 + 2.7 = 8.4$$

punto 4 $k = \frac{2.7}{8.4}(1.5) = 0.4821$

punto 5 $k = \frac{3}{8.4}(1.5) = 0.5357$

punto 6 $k = \frac{2.7}{8.4}(1.5) = 0.4821$

$$\Sigma_{columna \text{ inf.}} = 4 + 5 + 4 = 13$$

punto 7 $k = \frac{4}{13}(1.5) = -0.4615$

punto 8 $k = \frac{5}{13}(1.5) = -0.5769$

punto 9 $k = \frac{4}{13}(1.5) = -0.4615$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

7.5. Análisis estructural con el método de Kani

CICLO ITERATIVO: 9-7-8-6-4-5-3-1-2

Cálculo de los momentos empleando Kani

Cálculo del nuevo momento sísmico

$$M_{\text{sism.}} = M_{\text{sismorig}} (f_a)$$

$M_{\text{sism.}}$ = momento sísmico

M_{sismorig} = momento sísmico original

f_a = factor de aceleración

$$M_{\text{sism}_1} = 22.104(3) = 66.3120$$

Luego se multiplica el momento sísmico por el factor de corrección de cada columna (f_c).

$$f_{c_1} = 66.3120(-0.4722) = -31.3125$$

$$f_{c_2} = 66.3120(-0.5556) = -36.8429$$

$$f_{c_3} = 66.3120(-0.4722) = -31.3125$$

$$M_{\text{sism}_2} = 37.469(3) = 112.4070$$

$$f_{c_4} = 112.4070(-0.4821) = -54.1914$$

$$f_{c_5} = 112.4070(-0.5357) = -60.2164$$

$$f_{c_6} = 112.4070(-0.4821) = -54.1914$$

$$M_{\text{sism}_3} = 40.592(3) = 121.7760$$

$$f_{c_7} = 121.7760(-0.4615) = -56.1996$$

$$f_{c_8} = 121.7760(-0.5769) = -70.2526$$

$$f_{c_9} = 121.7760(-0.4615) = -56.1996$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Primera iteración

Pto. 9

$$M = M_{inic.} + M_{op.} - f_c$$

$$M = 0.4214 + 0 + 0 - 54.1914 - 56.1996 = -109.9696$$

Se procede a multiplicar este valor por la rigidez de columna y viga correspondiente a cada punto.

$$-109.9696(-2.7/17.4) = \mathbf{17.0642}$$

$$-109.9696(-2/17.4) = \mathbf{12.6402}$$

$$-109.9696(-4/17.4) = \mathbf{25.2804}$$

Pto. 7

$$M = -0.4214 + 0 + 0 - 54.1914 - 56.1996 = -110.8129$$

$$-110.8129(-2.7/17.4) = \mathbf{17.1950}$$

$$-110.8129(-2/17.4) = \mathbf{12.7371}$$

$$-110.8129(-4/17.4) = \mathbf{25.4741}$$

Pto. 8

$$M = 0 + 12.6402 + 12.7371 - 70.2526 - 60.2164 = -105.0917$$

$$-105.0917(-3/24) = \mathbf{13.1365}$$

$$-105.0917(-2/24) = \mathbf{8.7576}$$

$$-105.0917(-5/24) = \mathbf{21.8941}$$

Pto. 6

$$M = -1.0153 + 0 + 0 + 17.0642 - 54.1914 - 31.3125 = -54.1914$$

$$-69.4550(-1.7/11.8) = \mathbf{10.0062}$$

$$-69.4550(-1.5/11.8) = \mathbf{8.8290}$$

$$-69.4550(-2.7/11.8) = \mathbf{15.8922}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Pto. 4

$$M = 1.0153 + 0 + 0 + 17.1950 - 31.3125 - 54.1914 = -67.2936$$

$$-67.2936(-1.7/11.8) = \mathbf{9.6948}$$

$$-67.2936(-1.5/11.8) = \mathbf{8.5543}$$

$$-67.2936(-2.7/11.8) = \mathbf{15.3977}$$

Pto. 5

$$M = 0 + 8.5543 + 8.8290 + 13.1365 - 35.8429 - 60.2164 = -66.5395$$

$$-66.5395(-2/16) = \mathbf{8.3174}$$

$$-66.5395(-1.5/16) = \mathbf{6.2381}$$

$$-66.5395(-3/16) = \mathbf{12.4762}$$

Pto. 3

$$M = 0.6164 + 0 + 10.0062 - 31.3125 = -20.6899$$

$$-20.6899(-1/5.4) = \mathbf{3.8315}$$

$$-20.6899(-1.7/5.4) = \mathbf{6.5135}$$

Pto. 1

$$M = -0.6164 + 0 + 9.6948 - 31.3125 = -22.2341$$

$$-22.2341(-1/5.4) = \mathbf{4.1174}$$

$$-22.2341(-1.7/5.4) = \mathbf{6.9996}$$

Pto. 2

$$M = 0 + 4.1174 + 3.8315 + 8.3174 - 36.8429 = -20.5766$$

$$-20.5766(-1/8) = \mathbf{2.5721}$$

$$-20.5766(-2/8) = \mathbf{5.1442}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Cálculo del nuevo momento sísmico

$$M_{sism.} = M_{sism_{orig}} + M_{c/Column}$$

$$M_{sism_1} = 22.104 + 6.9996 + 9.6948 + 5.1442 + +8.3174 + 6.5135 + 10.0062$$

$$M_{sism_1} = \mathbf{68.7797}$$

$$f_{c_1} = 68.7797(-0.4722) = \mathbf{-32.4778}$$

$$f_{c_2} = 68.7797(-0.5556) = \mathbf{-38.2140}$$

$$f_{c_3} = 68.7797(-0.4722) = \mathbf{-32.4778}$$

$$M_{sism_2} = 37.469 + 15.3977 + 17.1950 + 12.4762 + 13.1365 + 15.8922 + 17.0642$$

$$M_{sism_2} = \mathbf{128.6308}$$

$$f_{c_4} = 128.6308(-0.4821) = \mathbf{-62.0129}$$

$$f_{c_5} = 128.6308(-0.5357) = \mathbf{-68.9075}$$

$$f_{c_6} = 128.6308(-0.4821) = \mathbf{-62.0129}$$

$$M_{sism_3} = 40.592 + 25.4741 + 21.8941 + 25.2804$$

$$M_{sism_3} = \mathbf{113.2406}$$

$$f_{c_7} = 113.2406(-0.4615) = \mathbf{-52.2605}$$

$$f_{c_8} = 113.2406(-0.5769) = \mathbf{-65.3285}$$

$$f_{c_9} = 113.2406(-0.4615) = \mathbf{-52.2605}$$

Segunda iteración

Pto. 9

$$M = M_{inic.} + M_{op.} - f_c$$

$$M = 0.4214 + 15.8922 + 8.7576 - 62.0129 - 52.2605 = \mathbf{-89.2022}$$

$$-89.2022(-2.7/17.4) = \mathbf{13.8417}$$

$$-89.2022(-2/17.4) = \mathbf{10.2531}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$-89.2022(-4/17.4) = \mathbf{20.5063}$$

Pto. 7

$$M = -0.4214 + 8.7576 + 15.3977 - 62.0129 - 52.2605 = -89.6967$$

$$-89.6967(-2.7/17.4) = \mathbf{13.9185}$$

$$-89.6967(-2/17.4) = \mathbf{10.3100}$$

$$-89.6967(-4/17.4) = \mathbf{20.6199}$$

Pto. 8

$$M = 0 + 10.3100 + 10.2531 + 12.4762 - 68.9075 - 65.3285 = -101.1967$$

$$-101.1967(-3/24) = \mathbf{12.6496}$$

$$-101.1967(-2/24) = \mathbf{8.4311}$$

$$-101.1967(-5/24) = \mathbf{21.0826}$$

Pto. 6

$$M = -1.0153 + 6.5135 + 6.2381 + 13.9185 - 32.4778 - 62.0129 = -66.3192$$

$$-66.3192(-1.7/11.8) = \mathbf{9.9281}$$

$$-66.3192(-1.5/11.8) = \mathbf{8.7601}$$

$$-66.3192(-2.7/11.8) = \mathbf{15.7682}$$

Pto. 4

$$M = 1.0153 + 0 + 0 + 17.1950 - 31.3125 - 54.1914 = -67.2936$$

$$-67.2936(-1.7/11.8) = \mathbf{9.5545}$$

$$-67.2936(-1.5/11.8) = \mathbf{8.4304}$$

$$-67.2936(-2.7/11.8) = \mathbf{15.1747}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Pto. 5

$$M = 0 + 8.4304 + 8.7601 + 12.6496 + 5.1442 - 38.2140 - 68.9075 = -66.1372$$

$$-66.1372(-2/16) = \mathbf{8.2672}$$

$$-66.1372(-1.5/16) = \mathbf{6.2004}$$

$$-66.1372(-3/16) = \mathbf{12.4007}$$

Pto. 3

$$M = 0.6164 + 2.5721 + 9.9281 - 32.4778 = -19.3612$$

$$-19.3612(-1/5.4) = \mathbf{3.5854}$$

$$-19.3612(-1.7/5.4) = \mathbf{6.0952}$$

Pto. 1

$$M = -0.6164 + 2.5721 + 9.5545 - 32.4778 = -20.9676$$

$$-20.9676(-1/5.4) = \mathbf{3.8829}$$

$$-20.9676(-1.7/5.4) = \mathbf{6.6009}$$

Pto. 2

$$M = 0 + 3.8829 + 3.5854 + 8.2672 - 38.2140 = -22.4785$$

$$-22.4785(-1/8) = \mathbf{2.8098}$$

$$-22.4785(-2/8) = \mathbf{5.6196}$$

Cálculo del nuevo momento sísmico

$$M_{sism_1} = 22.104 + 6.6009 + 9.5545 + 5.6196 + 8.2672 + 6.0952 + 9.9281$$

$$\mathbf{M_{sism_1} = 68.1695}$$

$$f_{c_1} = 68.1695(-0.4722) = \mathbf{-32.1896}$$

$$f_{c_2} = 68.1695(-0.5556) = \mathbf{-37.8750}$$

$$f_{c_3} = 68.1695(-0.4722) = \mathbf{-32.1896}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$M_{sism_2} = 37.469 + 15.1747 + 13.9185 + 12.4007 + 12.6496 + 15.7682 + 13.8417$$

$$M_{sism_2} = \mathbf{121.224}$$

$$f_{c_4} = 121.224(-0.4821) = \mathbf{-58.4413}$$

$$f_{c_5} = 121.224(-0.5357) = \mathbf{-64.9388}$$

$$f_{c_6} = 121.224(-0.4821) = \mathbf{-58.4413}$$

$$M_{sism_3} = 40.592 + 20.6199 + 21.0826 + 20.5063$$

$$M_{sism_3} = \mathbf{102.8008}$$

$$f_{c_7} = 102.8008(-0.4615) = \mathbf{-47.4426}$$

$$f_{c_8} = 102.8008(-0.5769) = \mathbf{-59.3058}$$

$$f_{c_9} = 102.8008(-0.4615) = \mathbf{-47.4426}$$

Tercera iteración

Pto. 9

$$M = 0.4214 + 15.7682 + 8.4341 - 47.4426 - 58.4413 = -81.2612$$

$$-81.2612(-2.7/17.4) = \mathbf{12.6095}$$

$$-81.2612(-2/17.4) = \mathbf{9.5055}$$

$$-81.2612(-4/17.4) = \mathbf{18.6807}$$

Pto. 7

$$M = -0.4214 + 8.4331 + 15.1747 - 47.4426 - 58.4413 = -82.6975$$

$$-82.6975(-2.7/17.4) = \mathbf{12.8324}$$

$$-82.6975(-2/17.4) = \mathbf{9.5055}$$

$$-82.6975(-4/17.4) = \mathbf{19.0109}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Pto. 8

$$M = 0 + 9.5055 + 9.3404 + 12.4007 - 64.9388 - 59.3058 = -92.9980$$

$$-92.9980(-3/24) = \mathbf{11.6248}$$

$$-92.9980(-2/24) = \mathbf{7.7498}$$

$$-92.9980(-5/24) = \mathbf{19.3746}$$

Pto. 6

$$M = -1.0153 + 6.2004 + 6.0952 + 12.6095 - 32.1896 - 58.4413 = -66.7411$$

$$-66.7411(-1.7/11.8) = \mathbf{9.6152}$$

$$-66.7411(-1.5/11.8) = \mathbf{8.4840}$$

$$-66.7411(-2.7/11.8) = \mathbf{15.2713}$$

Pto. 4

$$M = 1.0153 + 6.2004 + 6.6009 + 12.8324 - 32.1896 - 58.4413 = -63.9819$$

$$-63.9819(-1.7/11.8) = \mathbf{9.2177}$$

$$-63.9819(-1.5/11.8) = \mathbf{8.1333}$$

$$-63.9819(-2.7/11.8) = \mathbf{14.6399}$$

Pto. 5

$$M = 0 + 8.1333 + 8.4840 + 11.6248 + 5.6191 - 37.8750 - 64.9388 = -68.9521$$

$$-68.9521(-2/16) = \mathbf{8.6190}$$

$$-68.9521(-1.5/16) = \mathbf{6.4643}$$

$$-68.9521(-3/16) = \mathbf{12.9285}$$

Pto. 3

$$M = 0.6164 + 2.8098 + 9.6152 - 32.1896 = -19.1482$$

$$-19.1482(-1/5.4) = \mathbf{3.5460}$$

$$-19.1482(-1.7/5.4) = \mathbf{6.0281}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Pto. 1

$$M = -0.6164 + 2.8098 + 9.2177 - 32.1896 = -20.7785$$

$$-20.7785(-1/5.4) = \mathbf{3.8479}$$

$$-20.7785(-1.7/5.4) = \mathbf{6.5414}$$

Pto. 2

$$M = 0 + 3.8479 + 3.5460 + 8.6190 - 37.8750 = -21.8621$$

$$-21.8621(-1/8) = \mathbf{2.7328}$$

$$-21.8621(-2/8) = \mathbf{5.4655}$$

Cálculo del nuevo momento sísmico

$$M_{sism_1} = 22.104 + 6.5414 + 9.2177 + 5.4655 + 8.6190 + 6.0281 + 9.6152$$

$$\mathbf{M_{sism_1} = 67.5709}$$

$$f_{c_1} = 67.5709(-0.4722) = \mathbf{-31.9164}$$

$$f_{c_2} = 67.5709(-0.5556) = \mathbf{-37.5535}$$

$$f_{c_3} = 67.5709(-0.4722) = \mathbf{-31.9164}$$

$$M_{sism_2} = 37.469 + 14.6399 + 12.8324 + 12.9285 + 11.6248 + 15.2713 + 12.6095$$

$$\mathbf{M_{sism_2} = 117.3754}$$

$$f_{c_4} = 117.3754(-0.4821) = \mathbf{-56.5867}$$

$$f_{c_5} = 117.3754(-0.5357) = \mathbf{-62.8780}$$

$$f_{c_6} = 117.3754(-0.4821) = \mathbf{-56.5867}$$

$$M_{sism_3} = 40.592 + 19.0109 + 19.3746 + 18.6807$$

$$\mathbf{M_{sism_3} = 97.6582}$$

$$f_{c_7} = 97.6582(-0.4615) = \mathbf{-45.0693}$$

$$f_{c_8} = 97.6582(-0.5769) = \mathbf{-56.3390}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$f_{c_0} = 97.6582(-0.4615) = -45.0693$$

Cuarta iteración

Pto. 9

$$M = 0.4214 + 7.7498 + 15.2713 - 45.0693 - 56.5867 = -78.2135$$

$$-78.2135 (-2.7/17.4) = \mathbf{12.1366}$$

$$-78.2135 (-2/17.4) = \mathbf{8.9901}$$

$$-78.2135 (-4/17.4) = \mathbf{17.9801}$$

Pto. 7

$$M = -0.4214 + 7.7498 + 14.6399 - 45.0693 - 56.5867 = -79.6877$$

$$-82.6975(-2.7/17.4) = \mathbf{12.3653}$$

$$-82.6975(-2/17.4) = \mathbf{9.1595}$$

$$-82.6975(-4/17.4) = \mathbf{18.3190}$$

Pto. 8

$$M = 0 + 9.1595 + 8.9901 + 12.9285 - 62.8780 - 56.3390 = -88.1389$$

$$-88.1389(-3/24) = \mathbf{11.0174}$$

$$-88.1389(-2/24) = \mathbf{7.3449}$$

$$-88.1389(-5/24) = \mathbf{18.3623}$$

Pto. 6

$$M = -1.0153 + 6.4643 + 6.0281 + 12.1366 - 31.9164 - 56.5867 = -64.8894$$

$$-64.8894(-1.7/11.8) = \mathbf{9.3485}$$

$$-64.8894(-1.5/11.8) = \mathbf{8.2487}$$

$$-64.8894(-2.7/11.8) = \mathbf{14.8478}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Pto. 4

$$M = 1.0153 + 6.4643 + 6.5414 + 12.3653 - 31.9164 - 56.5867 = -62.1168$$

$$-62.1168(-1.7/11.8) = \mathbf{8.9490}$$

$$-62.1168(-1.5/11.8) = \mathbf{7.8962}$$

$$-62.1168(-2.7/11.8) = \mathbf{14.2139}$$

Pto. 5

$$M = 0 + 7.8962 + 8.2487 + 11.0174 + 5.4655 - 37.5535 - 62.8780 = -67.8037$$

$$-67.8037(-2/16) = \mathbf{8.4755}$$

$$-67.8037(-1.5/16) = \mathbf{6.3566}$$

$$-67.8037(-3/16) = \mathbf{12.7132}$$

Pto. 3

$$M = 0.6164 + 2.7328 + 9.3485 - 31.9164 = -19.1482$$

$$-19.1482(-1/5.4) = \mathbf{3.5460}$$

$$-19.1482(-1.7/5.4) = \mathbf{6.0281}$$

Pto. 1

$$M = -0.6164 + 2.7328 + 8.9490 - 31.9164 = -20.8510$$

$$-20.8510(-1/5.4) = \mathbf{3.8613}$$

$$-20.8510(-1.7/5.4) = \mathbf{6.5642}$$

Pto. 2

$$M = 0 + 3.8613 + 3.5590 + 8.4755 - 37.5535 = -21.6577$$

$$-21.6577(-1/8) = \mathbf{2.7072}$$

$$-21.6577(-2/8) = \mathbf{5.4144}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Cálculo del nuevo momento sísmico

$$M_{sism_1} = 22.104 + 6.5642 + 8.9490 + 5.4144 + 8.4755 + 6.0503 + 9.3485$$

$$M_{sism_1} = \mathbf{66.9059}$$

$$f_{c_1} = 66.9059(-0.4722) = \mathbf{-31.5930}$$

$$f_{c_2} = 66.9059(-0.5556) = \mathbf{-37.1729}$$

$$f_{c_3} = 66.9059(-0.4722) = \mathbf{-31.5930}$$

$$M_{sism_2} = 37.469 + 14.2132 + 12.3653 + 12.7132 + 11.0174 + 14.8476 + 12.1366$$

$$M_{sism_2} = \mathbf{114.7623}$$

$$f_{c_4} = 114.7623(-0.4821) = \mathbf{-55.3269}$$

$$f_{c_5} = 114.7623(-0.5357) = \mathbf{-61.4782}$$

$$f_{c_6} = 114.7623(-0.4821) = \mathbf{-55.3269}$$

$$M_{sism_3} = 40.592 + 18.3190 + 18.3623 + 17.9801$$

$$M_{sism_3} = \mathbf{95.2534}$$

$$f_{c_7} = 95.2534(-0.4615) = \mathbf{-43.9594}$$

$$f_{c_8} = 95.2534(-0.5769) = \mathbf{-54.9517}$$

$$f_{c_9} = 95.2534(-0.4615) = \mathbf{-43.9594}$$

Quinta iteración

Pto. 9

$$M = 0.4214 + 7.3449 + 14.8476 - 43.9544 - 55.3629 = -76.7084$$

$$-76.7084 (-2.7/17.4) = \mathbf{11.9030}$$

$$-76.7084 (-2/17.4) = \mathbf{8.8171}$$

$$-76.7084 (-4/17.4) = \mathbf{17.6341}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Pto. 7

$$M = -0.4214 + 7.3449 + 14.2132 - 43.9544 - 55.3629 = -78.1856$$

$$-78.1856(-2.7/17.4) = \mathbf{12.1322}$$

$$-78.1856(-2/17.4) = \mathbf{8.9869}$$

$$-78.1856(-4/17.4) = \mathbf{17.9737}$$

Pto. 8

$$M = 0 + 8.9869 + 8.8171 + 12.7132 - 61.4782 - 54.9517 = -85.9127$$

$$-85.9127(-3/24) = \mathbf{10.7391}$$

$$-85.9127(-2/24) = \mathbf{7.1594}$$

$$-85.9127(-5/24) = \mathbf{17.8985}$$

Pto. 6

$$M = -1.0153 + 6.0503 + 6.3566 + 11.9030 - 31.5930 - 55.3269 = -63.6253$$

$$-63.6253(-1.7/11.8) = \mathbf{9.1664}$$

$$-63.6253(-1.5/11.8) = \mathbf{8.0880}$$

$$-63.6253(-2.7/11.8) = \mathbf{14.5583}$$

Pto. 4

$$M = 1.0153 + 6.3566 + 6.5642 + 12.1322 - -31.5930 - 55.3269 = -60.8516$$

$$-60.8516(-1.7/11.8) = \mathbf{8.7668}$$

$$-60.8516(-1.5/11.8) = \mathbf{7.7354}$$

$$-60.8516(-2.7/11.8) = \mathbf{13.9237}$$

Pto. 5

$$M = 0 + 7.7354 + 8.0880 + 10.7391 + 5.4144 - 37.1729 - 61.4782 = -66.6742$$

$$-66.6742(-2/16) = \mathbf{8.3343}$$

$$-66.6742(-1.5/16) = \mathbf{6.2507}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$-66.6742(-3/16) = \mathbf{12.5014}$$

Pto. 3

$$M = 0.6164 + 2.7072 + 9.1664 - 31.5930 = -19.1030$$

$$-19.1030(-1/5.4) = \mathbf{3.5376}$$

$$-19.1030(-1.7/5.4) = \mathbf{6.0139}$$

Pto. 1

$$M = -0.6164 + 2.7072 + 8.7668 - 31.5930 = -20.7354$$

$$-20.7354(-1/5.4) = \mathbf{3.8399}$$

$$-20.7354(-1.7/5.4) = \mathbf{6.5278}$$

Pto. 2

$$M = 0 + 3.8399 + 3.5376 + 8.3343 - 37.1729 = -21.4611$$

$$-21.4611(-1/8) = \mathbf{2.8626}$$

$$-21.4611(-2/8) = \mathbf{5.3653}$$

Cálculo del nuevo momento sísmico

$$M_{sism_1} = 22.104 + 6.5278 + 8.7668 + 5.3653 + 8.3343 + 6.0139 + 9.1664$$

$$\mathbf{M_{sism_1} = 66.2785}$$

$$f_{c_1} = 66.2785(-0.4722) = \mathbf{-31.2967}$$

$$f_{c_2} = 66.2785(-0.5556) = \mathbf{-36.8243}$$

$$f_{c_3} = 66.2785(-0.4722) = \mathbf{-31.2967}$$

$$M_{sism_2} = 37.469 + 13.9237 + 12.1322 + 12.5014 + 10.7391 + 14.5583 + 11.9030$$

$$\mathbf{M_{sism_2} = 113.2267}$$

$$f_{c_4} = 113.2267(-0.4821) = \mathbf{-54.5866}$$

$$f_{c_5} = 113.2267(-0.5357) = \mathbf{-60.6555}$$

$$f_{c_6} = 113.2267(-0.4821) = \mathbf{-54.5866}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$M_{sism_3} = 40.592 + 17.9737 + 17.8985 + 17.6341$$

$$M_{sism_3} = \mathbf{94.0983}$$

$$f_{c_7} = 94.0983(-0.4615) = \mathbf{-43.4264}$$

$$f_{c_8} = 94.0983(-0.5769) = \mathbf{-54.2853}$$

$$f_{c_9} = 94.0983(-0.4615) = \mathbf{-43.4264}$$

Sexta iteración

Pto. 9

$$M = 0.4214 + 7.1594 + 14.5583 - 54.5866 - 43.4264 = -75.8739$$

$$-75.8739 (-2.7/17.4) = \mathbf{11.7735}$$

$$-75.8739 (-2/17.4) = \mathbf{8.7211}$$

$$-75.8739 (-4/17.4) = \mathbf{17.4423}$$

Pto. 7

$$M = -0.4214 + 7.1594 + 13.9237 - 54.5866 - 43.4264 = -77.3513$$

$$-77.3513(-2.7/17.4) = \mathbf{12.0028}$$

$$-77.3513(-2/17.4) = \mathbf{8.8910}$$

$$-77.3513(-4/17.4) = \mathbf{17.7819}$$

Pto. 8

$$M = 0 + 8.8910 + 8.7211 + 12.5014 - 60.6555 - 54.2853 = -84.8273$$

$$-84.8273(-3/24) = \mathbf{10.6034}$$

$$-84.8273(-2/24) = \mathbf{7.0689}$$

$$-84.8273(-5/24) = \mathbf{17.6724}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Pto. 6

$$M = -1.0153 + 6.2507 + 6.0139 + 11.7735 - 31.2967 - 54.5866 = -62.8605$$

$$-62.8605(-1.7/11.8) = \mathbf{9.0562}$$

$$-62.8605(-1.5/11.8) = \mathbf{7.9907}$$

$$-62.8605(-2.7/11.8) = \mathbf{14.3833}$$

Pto. 4

$$M = 1.0153 + 6.2507 + 6.5278 + 12.0028 - 31.2967 - 54.5866 = -60.0867$$

$$-60.0867(-1.7/11.8) = \mathbf{8.6566}$$

$$-60.0867(-1.5/11.8) = \mathbf{7.6381}$$

$$-60.0867(-2.7/11.8) = \mathbf{13.7487}$$

Pto. 5

$$M = 0 + 7.6381 + 7.9907 + 10.6034 + 5.3653 - 36.8243 - 60.6555 = -65.8823$$

$$-65.8823(-2/16) = \mathbf{8.2353}$$

$$-65.8823(-1.5/16) = \mathbf{6.1765}$$

$$-65.8823(-3/16) = \mathbf{12.3529}$$

Pto. 3

$$M = 0.6164 + 2.6826 + 9.0562 - 31.2967 = -18.9415$$

$$-18.9415(-1/5.4) = \mathbf{3.5077}$$

$$-18.9415(-1.7/5.4) = \mathbf{5.9631}$$

Pto. 1

$$M = -0.6164 + 2.6826 + 8.6566 - 31.2967 = -20.5739$$

$$-20.5739(-1/5.4) = \mathbf{3.8100}$$

$$-20.5739(-1.7/5.4) = \mathbf{6.4770}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Pto. 2

$$M = 0 + 3.8100 + 3.5077 + 8.2353 - 36.8243 = -21.2713$$

$$-21.2713(-1/8) = \mathbf{2.6589}$$

$$-21.2713(-2/8) = \mathbf{5.3178}$$

Cálculo del nuevo momento sísmico

$$M_{sism_1} = 22.104 + 6.4770 + 8.6566 + 5.3178 + 8.2353 + 5.9631 + 9.0562$$

$$\mathbf{M_{sism_1} = 65.8100}$$

$$f_{c_1} = 65.8100(-0.4722) = \mathbf{-31.0755}$$

$$f_{c_2} = 65.8100(-0.5556) = \mathbf{-36.5640}$$

$$f_{c_3} = 65.8100(-0.4722) = \mathbf{-31.0755}$$

$$M_{sism_2} = 37.469 + 13.7487 + 12.0028 + 12.3529 + 10.6034 + 14.3833 + 11.7735$$

$$\mathbf{M_{sism_2} = 112.3336}$$

$$f_{c_4} = 112.3336(-0.4821) = \mathbf{-54.1560}$$

$$f_{c_5} = 112.3336(-0.5357) = \mathbf{-60.1771}$$

$$f_{c_6} = 112.3336(-0.4821) = \mathbf{-54.1560}$$

$$M_{sism_3} = 40.592 + 17.7819 + 17.6724 + 17.4423$$

$$\mathbf{M_{sism_3} = 93.4886}$$

$$f_{c_7} = 93.4886(-0.4615) = \mathbf{-43.1450}$$

$$f_{c_8} = 93.4886(-0.5769) = \mathbf{-53.9336}$$

$$f_{c_9} = 93.4886(-0.4615) = \mathbf{-43.1450}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Séptima iteración

Pto. 9

$$M = 0.4214 + 7.0689 + 14.3833 - 54.1560 - 43.1450 = -75.4274$$

$$-75.4274(-2.7/17.4) = \mathbf{11.7043}$$

$$-75.4274(-2/17.4) = \mathbf{8.6698}$$

$$-75.4274(-4/17.4) = \mathbf{17.3396}$$

Pto. 7

$$M = -0.4214 + 7.0689 + 13.7487 - 54.1560 - 43.1450 = -76.9048$$

$$-76.9048(-2.7/17.4) = \mathbf{11.9335}$$

$$-76.9048(-2/17.4) = \mathbf{8.8396}$$

$$-76.9048(-4/17.4) = \mathbf{17.6793}$$

Pto. 8

$$M = 0 + 8.8396 + 8.6698 + 12.3529 - 60.1771 - 53.9336 = -84.2484$$

$$-84.2484(-3/24) = \mathbf{10.5311}$$

$$-84.2484(-2/24) = \mathbf{7.0207}$$

$$-84.2484(-5/24) = \mathbf{17.5518}$$

Pto. 6

$$M = -1.0153 + 6.1765 + 5.9631 + 11.7043 - 31.0755 - 54.1560 = -62.4029$$

$$-62.4029(-1.7/11.8) = \mathbf{8.9902}$$

$$-62.4029(-1.5/11.8) = \mathbf{7.9326}$$

$$-62.4029(-2.7/11.8) = \mathbf{14.2786}$$

Pto. 4

$$M = 1.0153 + 6.1765 + 6.4770 + 11.9335 - 31.0755 - 54.1560 = -59.6292$$

$$-59.6292(-1.7/11.8) = \mathbf{8.5906}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$-59.6292(-1.5/11.8) = \mathbf{7.5800}$$

$$-59.6292(-2.7/11.8) = \mathbf{13.6440}$$

Pto. 5

$$M = 0 + 7.5800 + 7.9326 + 10.5311 + 5.3178 - 36.4154 - 59.9520 = -65.0059$$

$$-65.0059(-2/16) = \mathbf{8.1257}$$

$$-65.0059(-1.5/16) = \mathbf{6.0943}$$

$$-65.0059(-3/16) = \mathbf{12.1886}$$

Pto. 3

$$M = 0.6164 + 2.6589 + 8.9902 - 31.0755 = -18.8100$$

$$-18.8100(-1/5.4) = \mathbf{3.4833}$$

$$-18.8100(-1.7/5.4) = \mathbf{5.9217}$$

Pto. 1

$$M = -0.6164 + 2.6589 + 8.5906 - 31.0755 = -20.4424$$

$$-20.4424(-1/5.4) = \mathbf{3.7856}$$

$$-20.4424(-1.7/5.4) = \mathbf{6.4356}$$

Pto. 2

$$M = 0 + 3.7856 + 3.4833 + 8.1257 - 36.5640 = -21.1694$$

$$-21.1694(-1/8) = \mathbf{2.6462}$$

$$-21.1694(-2/8) = \mathbf{5.2924}$$

Cálculo del nuevo momento sísmico

$$M_{sism_1} = 22.104 + 6.4356 + 8.5906 + 5.2924 + 8.1257 + 5.9217 + 8.9902$$

$$\mathbf{M_{sism_1} = 65.4602}$$

$$f_{c_1} = 65.4602(-0.4722) = \mathbf{-30.9103}$$

$$f_{c_2} = 65.4602(-0.5556) = \mathbf{-36.3697}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$f_{c_3} = 65.4602(-0.4722) = -\mathbf{30.9103}$$

$$M_{sism_2} = 37.469 + 13.6440 + 11.9335 + 12.1886 + 10.5311 + 14.2786 + 11.7043$$

$$M_{sism_2} = \mathbf{111.7491}$$

$$f_{c_4} = 111.7491(-0.4821) = -\mathbf{53.8742}$$

$$f_{c_5} = 111.7491(-0.5357) = -\mathbf{60.6555}$$

$$f_{c_6} = 111.7491(-0.4821) = -\mathbf{53.8742}$$

$$M_{sism_3} = 40.592 + 17.6793 + 17.5518 + 17.3396$$

$$M_{sism_3} = \mathbf{93.1627}$$

$$f_{c_7} = 93.1627(-0.4615) = -\mathbf{42.9946}$$

$$f_{c_8} = 93.1627(-0.5769) = -\mathbf{53.7456}$$

$$f_{c_9} = 93.1627(-0.4615) = -\mathbf{42.9946}$$

Octava iteración

Pto. 9

$$M = 0.4214 + 7.0207 + 14.2786 - 53.8742 - 42.9946 = -76.6255$$

$$-76.6255 (-2.7/17.4) = \mathbf{11.6609}$$

$$-76.6255 (-2/17.4) = \mathbf{8.6377}$$

$$-76.6255 (-4/17.4) = \mathbf{17.2754}$$

Pto. 7

$$M = -0.4214 + 7.0207 + 13.6440 - 53.8742 - 42.9946 = -76.6255$$

$$-76.6255(-2.7/17.4) = \mathbf{11.8902}$$

$$-76.6255(-2/17.4) = \mathbf{8.8075}$$

$$-76.6255(-4/17.4) = \mathbf{17.6151}$$

Pto. 8

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$M = 0 + 8.8075 + 8.6377 + 12.1886 - 59.8640 - 53.7456 = -83.9758$$

$$-83.9758(-3/24) = \mathbf{10.4970}$$

$$-83.9758(-2/24) = \mathbf{6.9980}$$

$$-83.9758(-5/24) = \mathbf{17.4950}$$

Pto. 6

$$M = -1.0153 + 6.0943 + 5.9217 + 11.6609 - 30.9103 - 53.8742 = -62.1229$$

$$-62.1229(-1.7/11.8) = \mathbf{8.9499}$$

$$-62.1229(-1.5/11.8) = \mathbf{7.8970}$$

$$-62.1229(-2.7/11.8) = \mathbf{14.2146}$$

Pto. 4

$$M = 1.0153 + 6.0943 + 6.4356 + 11.8902 - 30.9103 - 53.8742 = -59.3491$$

$$-60.0867(-1.7/11.8) = \mathbf{8.5503}$$

$$-60.0867(-1.5/11.8) = \mathbf{7.5444}$$

$$-60.0867(-2.7/11.8) = \mathbf{13.5799}$$

Pto. 5

$$M = 0 + 7.5444 + 7.8970 + 10.4970 + 5.2924 - 36.3697 - 59.8640 = -65.0029$$

$$-65.0029(-2/16) = \mathbf{8.1254}$$

$$-65.0029(-1.5/16) = \mathbf{6.0940}$$

$$-65.0029(-3/16) = \mathbf{12.1880}$$

Pto. 3

$$M = 0.6164 + 2.6462 + 8.9499 - 30.9130 = -18.6978$$

$$-18.6978(-1/5.4) = \mathbf{3.4626}$$

$$-18.6978(-1.7/5.4) = \mathbf{5.8863}$$

Pto. 1

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$M = -0.6164 + 2.6462 + 8.5503 - 30.9103 = -20.3302$$

$$-20.3302(-1/5.4) = \mathbf{3.7649}$$

$$-20.3302(-1.7/5.4) = \mathbf{6.4002}$$

Pto. 2

$$M = 0 + 3.7649 + 3.4626 + 8.1254 - 36.3697 = -21.0168$$

$$-21.0168(-1/8) = \mathbf{2.6271}$$

$$-21.0168(-2/8) = \mathbf{5.2542}$$

Cálculo del nuevo momento sísmico

$$M_{sism_1} = 22.104 + 6.4002 + 8.5503 + 5.2542 + 8.1254 + 5.8863 + 8.9499$$

$$\mathbf{M_{sism_1} = 65.2703}$$

$$f_{c_1} = 65.2703(-0.4722) = \mathbf{-30.8206}$$

$$f_{c_2} = 65.2703(-0.5556) = \mathbf{-36.2642}$$

$$f_{c_3} = 65.2703(-0.4722) = \mathbf{-30.8206}$$

$$M_{sism_2} = 37.469 + 13.5799 + 11.8902 + 12.1880 + 10.4970 + 14.2146 + 11.6609$$

$$\mathbf{M_{sism_2} = 111.4996}$$

$$f_{c_4} = 111.4996(-0.4821) = \mathbf{-53.7540}$$

$$f_{c_5} = 111.4996(-0.5357) = \mathbf{-59.7303}$$

$$f_{c_6} = 111.4996(-0.4821) = \mathbf{-53.7540}$$

$$M_{sism_3} = 40.592 + 17.6151 + 17.4950 + 17.2754$$

$$\mathbf{M_{sism_3} = 92.9775}$$

$$f_{c_7} = 92.9775(-0.4615) = \mathbf{-42.9091}$$

$$f_{c_8} = 92.9775(-0.5769) = \mathbf{-53.6387}$$

$$f_{c_9} = 92.9775(-0.4615) = \mathbf{-42.9091}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Momento sísmico Original	f_c Pto. 1	f_c Pto. 2	f_c Pto. 3
22.104	-0.4722	-0.5556	-0.4722
66.3120	-31.3125	-36.8429	-31.3125
68.7797	-32.4778	-38.2140	-32.4778
68.1695	-32.1896	-37.8750	-32.1896
67.5909	-31.9164	-37.5535	-31.9164
66.9059	-31.5930	-37.1729	-31.5930
66.2785	-31.2967	-36.8243	-31.2967
65.8100	-31.0755	-36.5640	-31.0755
65.4602	-30.9103	-36.3697	-30.9103
64.8053	-30.8206	-36.2642	-30.8206
Momento sísmico Original	f_c Pto. 4	f_c Pto. 5	f_c Pto. 6
37.469	-0.4821	-0.5357	-0.4821
112.4070	-54.1914	-60.2164	-54.1914
128.6308	-62.0129	-68.9075	-62.0129
121.2224	-58.4413	-64.9388	-58.4413
117.3754	-56.5867	-62.8780	-56.5867
114.7623	-55.3269	-61.4782	-55.3269
113.2267	-54.5866	-60.5555	-54.5866
112.3336	-54.1560	-60.1771	-54.1560
111.7491	-53.8742	-59.8640	-53.8742
111.4996	-53.7540	-59.7303	-53.7540
Momento sísmico Original	f_c Pto. 7	f_c Pto. 8	f_c Pto. 9
40.592	-0.4615	-0.5769	-0.4615
121.7760	-56.1996	-70.2526	-56.1996
113.2406	-52.2605	-65.3285	-52.2605
102.8008	-47.4426	-59.3058	-47.4426
97.6582	-45.0693	-56.3390	-45.0693
95.2534	-43.9594	-54.9517	-43.9594
94.0983	-43.4264	-54.2853	-43.4264
93.4886	-43.1450	-53.9336	-43.1450
93.1627	-42.9946	-53.7456	-42.9946
93.1627	-42.9091	-53.6387	-42.9091

Tabla 5. Valores del cálculo de momento sísmico y factor de corrección de columna en cada punto del marco estructural. Fuente: Elaboración propia.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

CICLO ITERATIVO: 9-7-8-6-4-5-3-1-2

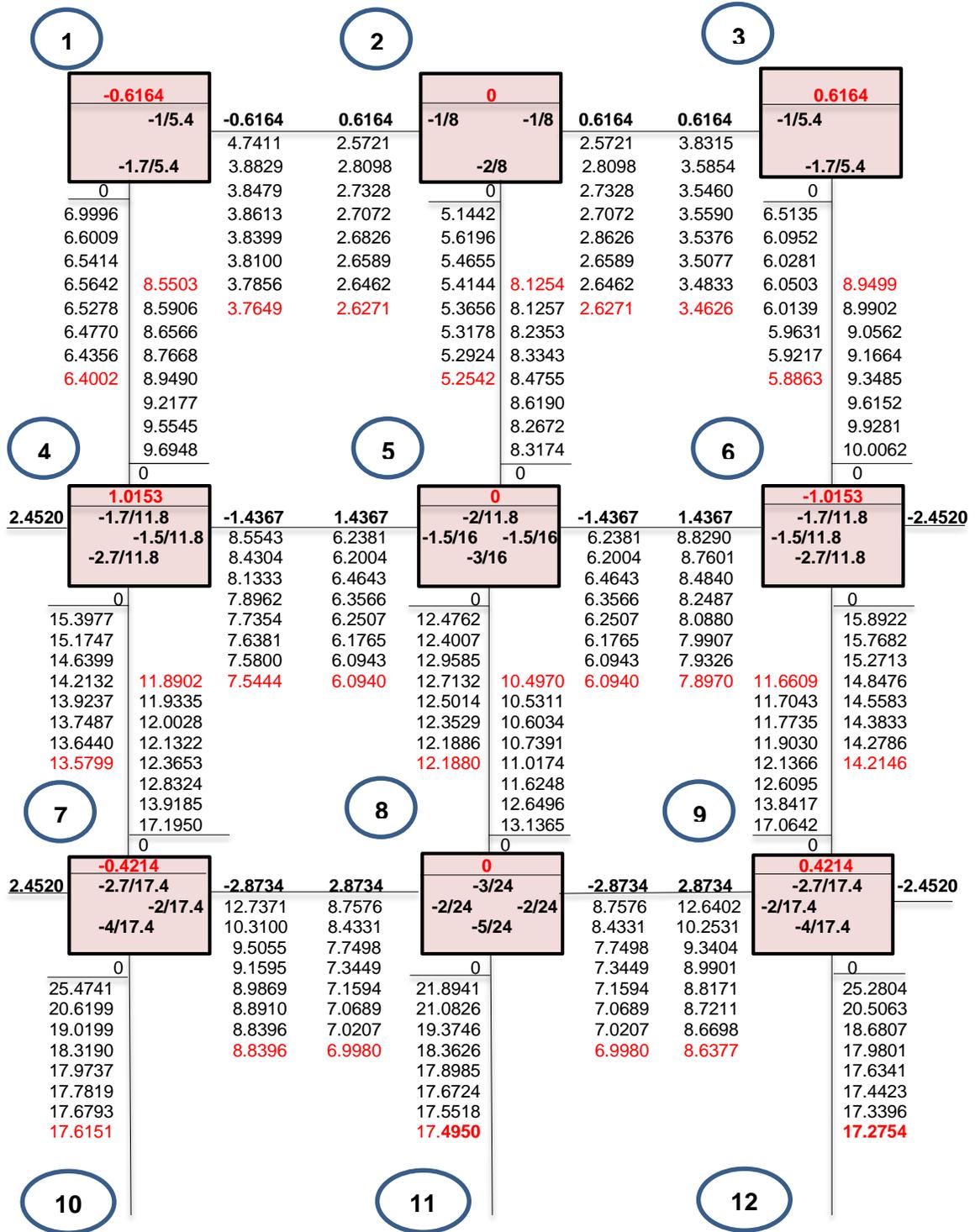


Figura 24. Gráfico del marco estructural con el método Kani. Fuente: Elaboración propia.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Cálculo de los momentos finales corregidos.

$$M_f = M_{\text{empo.}} + 2M_{\text{propio}} + M_{\text{opuesto}}$$

$$M_{1-2} = -0.6164 + 2(3.7679) + 2.6271 = 9.5405$$

$$M_{1-4} = 0 + 2(6.4004) + 8.5503 - 30.8206 = -9.4699$$

$$\text{Error} = 0.0706$$

$$\text{Correccion} = -0.0353$$

$$M_{1-2} = \mathbf{9.5052}$$

$$M_{1-4} = \mathbf{-9.5052} \quad \Sigma = 0$$

$$M_{2-1} = 0.6164 + 2(2.6271) + 3.7679 = 9.6305$$

$$M_{2-3} = -0.6164 + 2(2.6271) + 3.4626 = 8.1004$$

$$M_{2-5} = 0 + 2(5.2542) + 8.1254 - 36.2642 = -17.6304$$

$$\text{Error} = 0.1055$$

$$\text{Correccion} = -0.0352$$

$$M_{2-1} = \mathbf{9.6003}$$

$$M_{2-3} = \mathbf{8.0652}$$

$$M_{2-5} = \mathbf{-17.6656} \quad \Sigma = 0$$

$$M_{3-2} = 0.6164 + 2(3.4626) + 2.6271 = 10.1687$$

$$M_{3-6} = 0 + 2(5.8863) + 8.9499 - 30.8206 = -10.0981$$

$$\text{Error} = 0.0706$$

$$\text{Correccion} = -0.0353$$

$$M_{3-2} = \mathbf{10.3334}$$

$$M_{1-4} = \mathbf{-10.3334} \quad \Sigma = 0$$

$$M_{4-1} = 0 + 2(8.5503) + 6.4002 - 30.8206 = -7.3198$$

$$M_{4-5} = -1.4367 + 2(7.5444) + 6.0940 = 19.7461$$

$$M_{\text{volad.}} = 2.4520 + 19.7461 = 22.1981$$

$$M_{4-7} = 0 + 2(13.5799) + 11.8902 - 53.7540 = -14.7040$$

$$\text{Error} = 0.1743$$

$$\text{Correccion} = -0.0436$$

$$M_{4-1} = \mathbf{-7.3634}$$

$$M_{4-5} = \mathbf{19.7025}$$

$$M_{4-7} = \mathbf{-14.7476}$$

$$M_{\text{volad.}} = \mathbf{2.4084} \quad \Sigma = 0$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$\begin{aligned}M_{5-4} &= 1.4367 + 2(6.0940) + 7.5444 = 21.1691 \\M_{5-6} &= -1.4367 + 2(6.0940) + 7.8970 = 18.6483 \\M_{5-2} &= 0 + 2(8.1254) + 5.2542 - 36.2642 = -14.7592 \\M_{5-8} &= 0 + 2(12.1880) + 10.4970 - 59.7303 = -24.8573\end{aligned}$$

$$\text{Error} = 0.2009 \quad \text{Correccion} = -0.0502$$

$$\begin{aligned}\mathbf{M_{5-4} = 21.1189} \\ \mathbf{M_{5-6} = 18.5981} \\ \mathbf{M_{5-2} = -14.8095} \\ \mathbf{M_{5-8} = -24.9075} \quad \mathbf{\Sigma = 0}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{6-3} &= 0 + 2(8.4999) + 5.8863 - 30.8206 = -7.0345 \\M_{6-5} &= 1.4367 + 2(7.8970) + 6.0940 = 23.3247 \\M_{\text{volad.}} &= -2.4520 + 23.3247 = 20.8727 \\M_{6-9} &= 0 + 2(14.2146) + 11.6609 - 53.7540 = -13.6639\end{aligned}$$

$$\text{Error} = 0.1743 \quad \text{Correccion} = -0.0436$$

$$\begin{aligned}\mathbf{M_{6-3} = -7.0781} \\ \mathbf{M_{6-5} = 23.2811} \\ \mathbf{M_{6-9} = -13.7075} \\ \mathbf{M_{\text{volad.}} = -2.4956} \quad \mathbf{\Sigma = 0}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{7-4} &= 0 + 2(11.8902) + 13.5799 - 53.7540 = -16.3937 \\M_{7-8} &= -2.8734 + 2(8.8075) + 6.9980 = 21.7396 \\M_{\text{volad.}} &= 2.4520 + 21.7396 = 24.1916 \\M_{7-10} &= 0 + 2(17.6151) + 0 - 42.9091 = -7.6789\end{aligned}$$

$$\text{Error} = 0.1190 \quad \text{Correccion} = -0.0298$$

$$\begin{aligned}\mathbf{M_{7-4} = -16.4235} \\ \mathbf{M_{7-8} = 21.7099} \\ \mathbf{M_{7-10} = -7.7087} \\ \mathbf{M_{\text{volad.}} = 2.4223} \quad \mathbf{\Sigma = 0}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{8-7} &= 2.8734 + 2(6.9980) + 8.8075 = 25.6769 \\M_{8-9} &= -2.8734 + 2(6.9980) + 8.6375 = 19.7601 \\M_{8-5} &= 0 + 2(10.4970) + 12.1880 - 59.7303 = -26.5483 \\M_{8-11} &= 0 + 2(17.4950) + 0 - 53.6387 = -18.6487\end{aligned}$$

$$\text{Error} = 0.2400 \quad \text{Correccion} = -0.0600$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$\begin{aligned}M_{8-7} &= 25.6169 \\M_{8-9} &= 19.7001 \\M_{8-5} &= -26.6083 \\M_{8-11} &= -18.7087 \quad \Sigma = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{9-6} &= 0 + 2(11.6609) + 14.2146 - 53.7540 = -16.2176 \\M_{9-8} &= 2.8734 + 2(8.6377) + 6.9980 = 27.1468 \\M_{\text{volad.}} &= -2.4520 + 27.1468 = 24.6948 \\M_{9-12} &= 0 + 2(17.2754) + 0 - 42.9091 = -8.3583\end{aligned}$$

$$\text{Error} = 0.1189 \quad \text{Correccion} = -0.0297$$

$$\begin{aligned}M_{9-6} &= -16.2473 \\M_{9-8} &= 27.1179 \\M_{9-12} &= -8.3880 \\M_{\text{volad.}} &= -2.4817 \quad \Sigma = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{10-7} &= 0 + 2(0) + 17.6151 - 42.9091 = -25.2940 \\M_{10-7} &= -25.2940\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{11-8} &= 0 + 2(0) + 17.4950 - 53.6387 = -36.1437 \\M_{11-8} &= -36.1437\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{12-9} &= 0 + 2(0) + 17.2754 - 42.9091 = -25.6337 \\M_{12-9} &= 25.6337\end{aligned}$$

Cálculo de las fuerzas basales
3^{er} nivel

$$H_1 = \frac{M_{1-4} + M_{4-1}}{h_{\text{piso}}}$$

$$H_1 = \frac{-9.5052 - 7.3634}{3}$$

$$H_1 = -5.6$$

$$H_2 = \frac{M_{2-5} + M_{5-2}}{h_{\text{piso}}}$$

$$H_2 = \frac{-17.6656 - 14.8095}{3}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$H_2 = -10.8$$

$$H_3 = \frac{M_{3-6} + M_{6-3}}{h_{\text{piso}}}$$

$$H_2 = \frac{-10.1334 - 7.0781}{3}$$

$$H_3 = -5.7$$

$$\Sigma H = H_1 + H_2 + H_3$$

$$\Sigma H = -5.6 - 10.8 - 5.7$$

$$\Sigma H = -22.1$$

2^{do} nivel

$$H_4 = \frac{M_{4-7} + M_{7-4}}{h_{\text{piso}}}$$

$$H_4 = \frac{-14.7476 - 16.4235}{3}$$

$$H_4 = -10.3$$

$$H_5 = \frac{M_{5-8} + M_{8-5}}{h_{\text{piso}}}$$

$$H_5 = \frac{-24.9075 - 26.6083}{3}$$

$$H_5 = -17.2$$

$$H_6 = \frac{M_{6-9} + M_{9-6}}{h_{\text{piso}}}$$

$$H_6 = \frac{-13.7075 - 16.2473}{3}$$

$$H_6 = -10$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$\Sigma H = H_4 + H_5 + H_6$$

$$\Sigma H = -10.3 - 17.2 - 10$$

$$\Sigma H = -37.5$$

1^{er} nivel

$$H_7 = \frac{M_{7-10} + M_{10-7}}{h_{\text{piso}}}$$

$$H_7 = \frac{-7.7087 - 25.2940}{3}$$

$$H_7 = -11$$

$$H_8 = \frac{M_{8-11} + M_{11-8}}{h_{\text{piso}}}$$

$$H_8 = \frac{-18.7087 - 36.1437}{3}$$

$$H_8 = -18.3$$

$$H_9 = \frac{M_{9-12} + M_{12-9}}{h_{\text{piso}}}$$

$$H_9 = \frac{-8.3880 - 25.6337}{3}$$

$$H_9 = -11.3$$

$$\Sigma H = H_7 + H_8 + H_9$$

$$\Sigma H = -11 - 18.3 - 11.3$$

$$\Sigma H = -40.6$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

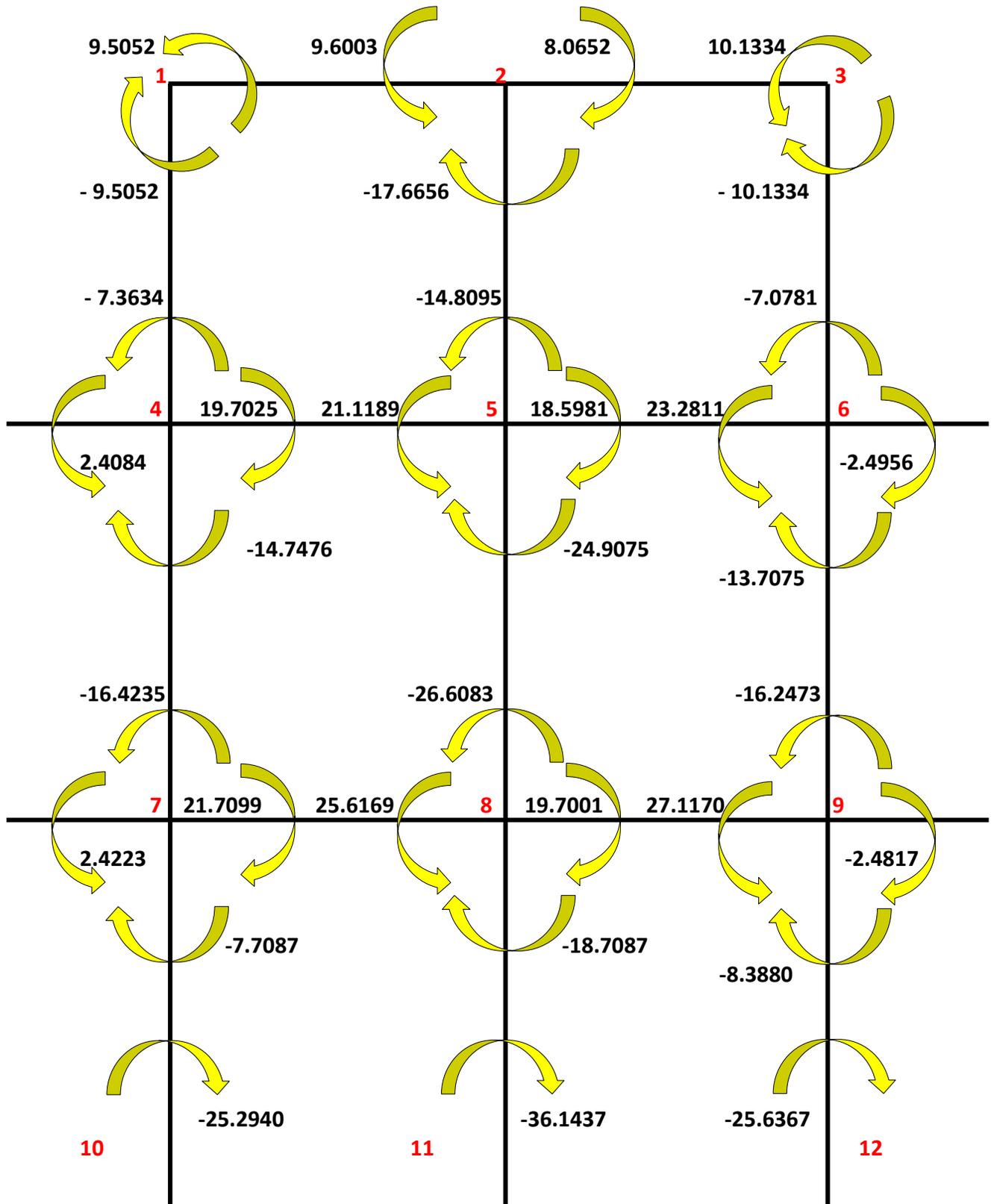
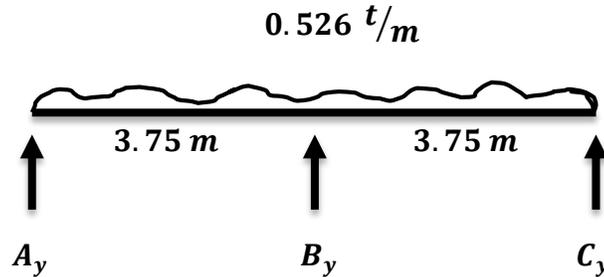


Figura 25. Gráfico de los momentos finales corregidos. Fuente: Elaboración propia.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

7.6. Cálculo de las reacciones en los apoyos

3^{er} nivel - Punto 1, 2, 3



$$M_A = M_C = 0$$

De tal manera que aplicamos el teorema de los 3 momentos y tenemos:

$$2M_B(2l) = -\frac{\omega l^3}{4} - \frac{\omega l^3}{4}$$

$$M_B = -\frac{\omega l^2}{4}$$

$$M_B = -\frac{(0.526 \text{ t/m})(3.75\text{m})^3}{4}, M_B = -0.9246 \text{ t/m}^2$$

Ahora analizamos de izquierda a derecha

$$A_y l - \frac{\omega l^2}{8} = -\frac{\omega l^2}{8}$$

$$A_y = \frac{3\omega l}{8}$$

$$A_y = \frac{3(0.526 \text{ t/m})(3.75\text{m})}{8}, A_y = 0.7397 \text{ t}$$

Ahora analizamos de izquierda a derecha

$$C_y = \frac{3\omega l}{8}, C_y = 0.7397 \text{ t}$$

$$\frac{3\omega l}{8}(2l) - \frac{\omega(2l)^2}{2} + B_y l = 0$$

$$B_y = (2\omega l) - \frac{3}{4}\omega l$$

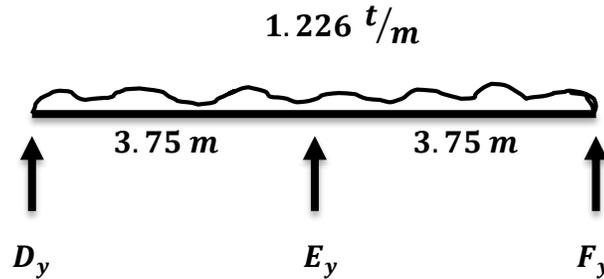
$$B_y = \frac{5}{4}\omega l$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$B_y = \frac{5}{4} (0.526 \text{ t/m})(3.75\text{m}), B_y = 2.4656 \text{ t}$$

$$\Sigma f_{y_1} = 3.9450 \text{ t}$$

2^{do} nivel - Punto 4, 5, 6



$$M_D = M_F = 0$$

$$M_E = -\frac{\omega l^2}{4}$$

$$M_E = -\frac{(1.226 \text{ t/m})(3.75\text{m})^3}{4}, M_E = -2.1551 \text{ t/m}^2$$

Analizamos de izquierda a derecha

$$D_y = \frac{3\omega l}{8}$$

$$D_y = \frac{3(1.226 \text{ t/m})(3.75\text{m})}{8}, D_y = 1.7241 \text{ t}$$

Ahora analizamos de izquierda a derecha

$$F_y = \frac{3\omega l}{8}, F_y = 1.7241 \text{ t}$$

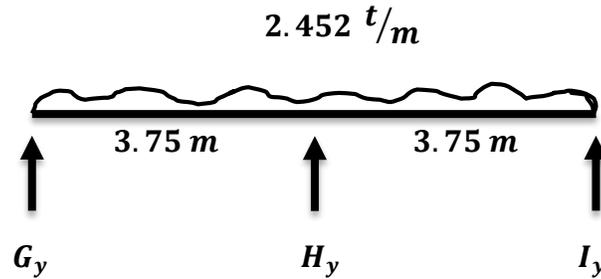
$$E_y = \frac{5}{4} \omega l$$

$$E_y = \frac{5}{4} (1.226 \text{ t/m})(3.75\text{m}), E_y = 5.7469 \text{ t}$$

$$\Sigma f_{y_2} = 9.1951 \text{ t}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

1^{er} nivel - Punto 7, 8, 9



$$M_G = M_I = 0$$

$$M_H = -\frac{\omega l^2}{4}$$

$$M_H = -\frac{(2.452 \text{ t/m})(3.75\text{m})^3}{4}, M_H = -4.3102 \text{ t/m}^2$$

Analizamos de izquierda a derecha

$$G_y = \frac{3\omega l}{8}$$

$$G_y = \frac{3(2.452 \text{ t/m})(3.75\text{m})}{8}, G_y = 3.4481 \text{ t}$$

Ahora analizamos de izquierda a derecha

$$I_y = \frac{3\omega l}{8}, I_y = 3.4481 \text{ t}$$

$$H_y = \frac{5}{4} \omega l$$

$$H_y = \frac{5}{4} (2.452 \text{ t/m})(3.75\text{m}), H_y = 11.4938 \text{ t}$$

$$\Sigma f_{y_3} = 18.39 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_{Y_t} &= \Sigma f_{y_1} + \Sigma f_{y_2} + \Sigma f_{y_3} \\ \Sigma F_{Y_t} &= 3.9450 \text{ t} + 9.1951 \text{ t} + 18.39 \text{ t} \\ \Sigma F_{Y_t} &= 31.53 \end{aligned}$$

Comprobación

$$\Sigma F_{Y_t} = \Sigma(\omega l)$$

$$31.53 = \Sigma[(0.526 \text{ t/m})(7.5\text{m}) + (1.226 \text{ t/m})(7.5\text{m}) + (2.452 \text{ t/m})(7.5\text{m})]$$

$$31.53 = 31.53 \text{ O.k}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

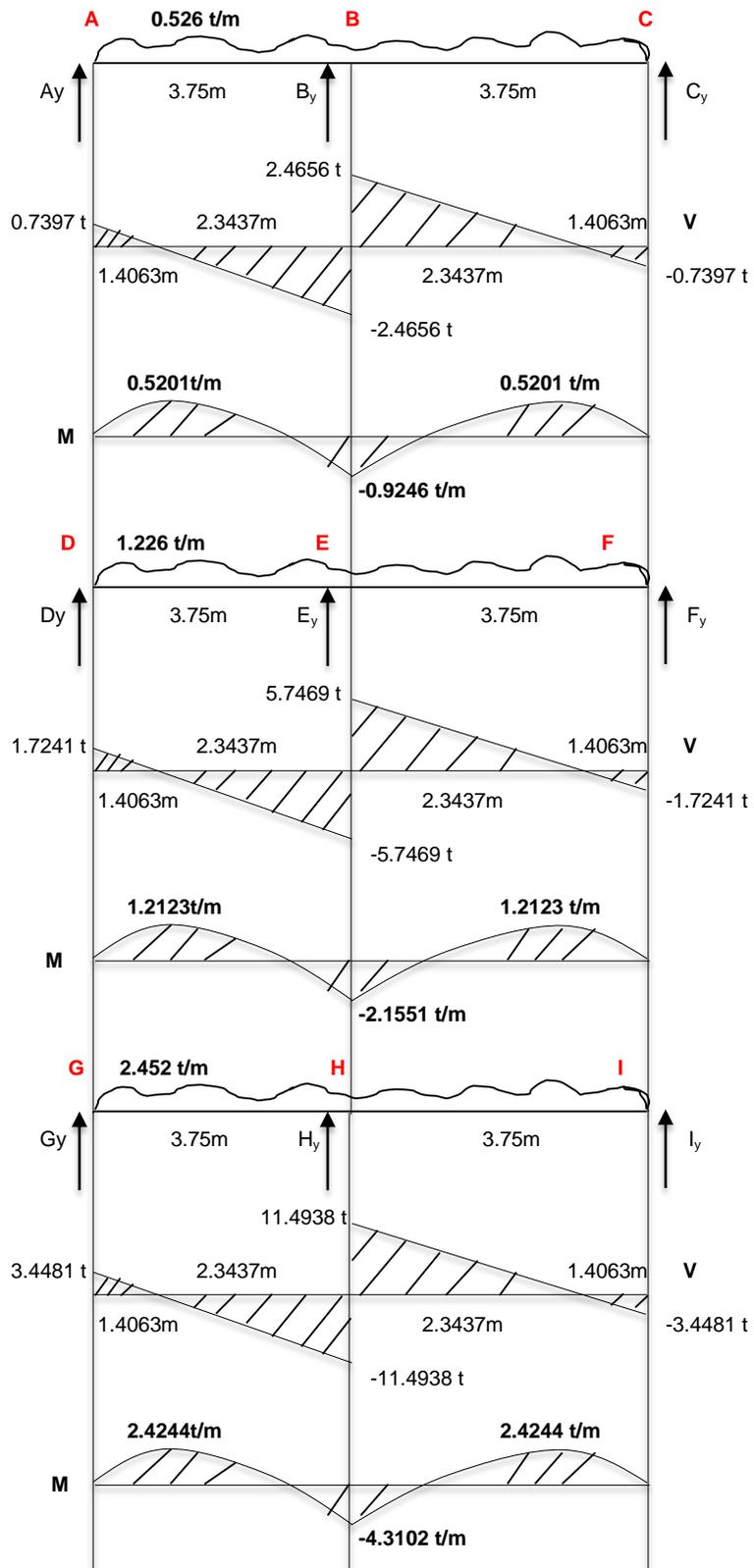


Figura 26. Gráfico diagrama de cortante y momento. Fuente. Elaboración propia.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

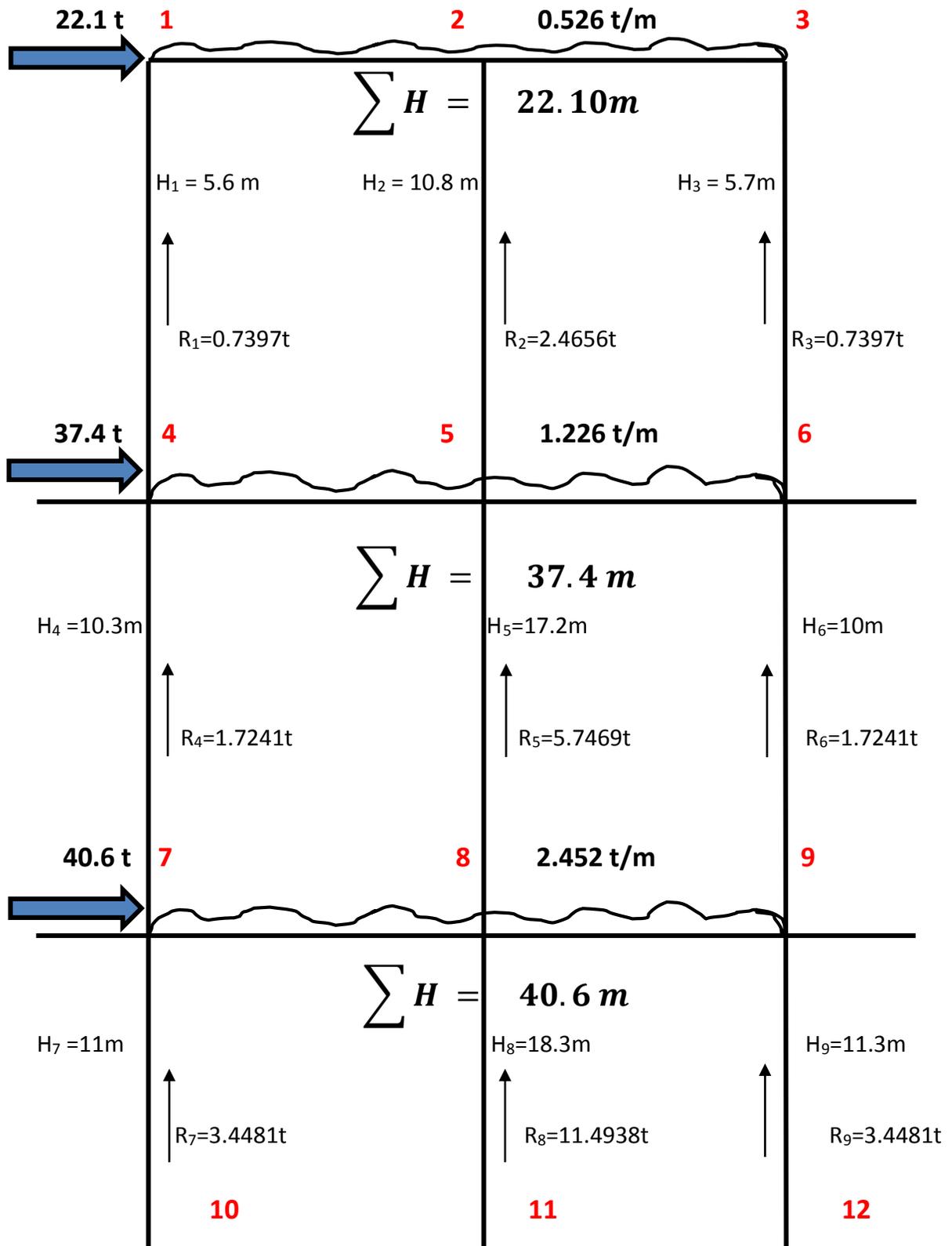


Figura 27. Gráfico de las reacciones y sumatoria de las fuerzas basales. Fuente. Elaboración propia.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

7.7. Diseño de vigas y columnas

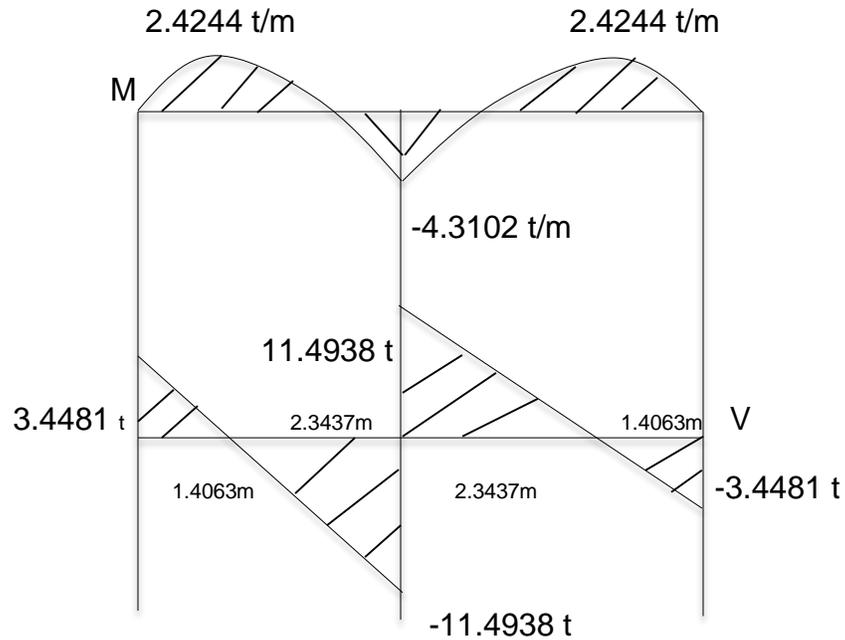


Figura 28. Gráfico que muestra el cortante y momento máximo en la estructura. Fuente: Elaboración propia.

7.7.1. Diseño de viga

$$p_{min.} = 0.50\%$$

$$p_{max.} = 0.75 P_b$$

$$p_b = 0.72 \frac{f'_c}{f'_y} \frac{6000}{6000 + f'_y}$$

$$f'_c = 210 \text{ kg} \quad f'_y = 2800 \text{ kg}$$

$$p_b = 0.72 \left(\frac{210}{2800} \right) \left(\frac{6000}{6000 + 2800} \right)$$

$$p_b = 0.0368$$

$$p_{max.} = 0.75 (0.0368)$$

$$p_{max.} = 0.0276$$

$$p = 0.0276 ; n = 10 ; np = 0.276$$

$$2np = 0.552 ; 2(np) = 0.076 \quad \Sigma = 0.628$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$k = \sqrt{0.628} - 0.276; \quad k = 0.5165$$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$j = 1 - \frac{0.5165}{3}; \quad j = 0.828$$

Para concreto de 210 kg/cm^2

$$f'_c = \frac{2}{3} (210 \text{ kg/cm}^2) = 140 \text{ kg/cm}^2$$

Capacidad resistente

$$R = \frac{f'_c}{2} kj$$

$$R = \frac{140 \text{ kg/cm}^2}{2} (0.5165)(0.828)$$

$$R = 29.94 \text{ kg/cm}^2$$

Tomando el momento máximo de 2.4244 obtenemos la sección de la viga

$$M_R = Rbd^2$$

$$2.4244 \text{ t/m}^2 \times 100,000 = 242,440 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_A = 242,440 \text{ kg/cm}^2$$

$$242000 \text{ kg/cm}^2 = (29.94 \text{ kg/cm}^2) bd^2$$

$$bd^2 = \frac{242440 \text{ kg/cm}^2}{29.94 \text{ kg/cm}^2}, \quad bd^2 = 8097.53$$

Proponemos que $b = 20 \text{ cm}$ y obtenemos que:

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$d = \sqrt{\frac{8097.53}{20}}, d = 20.1215 \approx 21$$

Entonces tomamos un valor de $d = 25$ para mayor resistencia

$$b = 20 \quad d = 25$$

Entonces

$M_R = Rbd^2$ tenemos que $M_R = 29.94(20)(25)^2$ donde el $M_R = 374,250$

$$\frac{374,250}{100,000} = 3.7425$$

$$F_S = \frac{M_R}{M_A}$$

$$F_S = \frac{3.7425}{2.4244}$$

$$F_S = 1.5437 > 1 \quad \text{O.k}$$

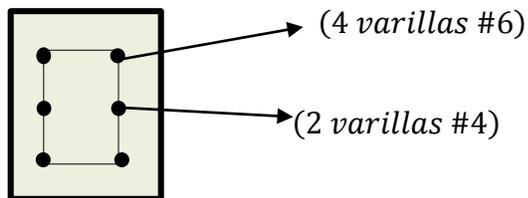
Procedemos a calcular el área del acero y su distribución:

$$A_s = pbd$$

$$A_s = (0.0276)(20\text{cm})(25\text{cm})$$

$$A_s = 13.80 \text{ cm}^2 \quad (4 \text{ varillas } \#6) \quad (11.40 \text{ cm}^2)$$

$$(2 \text{ varillas } \#4) \quad (2.54 \text{ cm}^2) \quad \Sigma = 13.94 \text{ cm}^2$$



Capacidad de cortante del concreto

$$v_c = 0.53 \sqrt{f'_c}$$

$$v_c = 0.53 \sqrt{210} \quad \text{donde } v_c = 7.68$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Fuerza cortante que resiste la sección de concreto propuesta

$$V_c = \frac{v_c b d}{1.5}$$

$$V_c = \frac{(7.68)(20)(25)}{1.5}$$

$$V_c = 2560 \text{ kg} \approx 2.56 \text{ t (concreto)}$$

$$V_s = 11.4938 - 2.56 = 8.9938 \text{ (acero)}$$

Ecuación de cortante

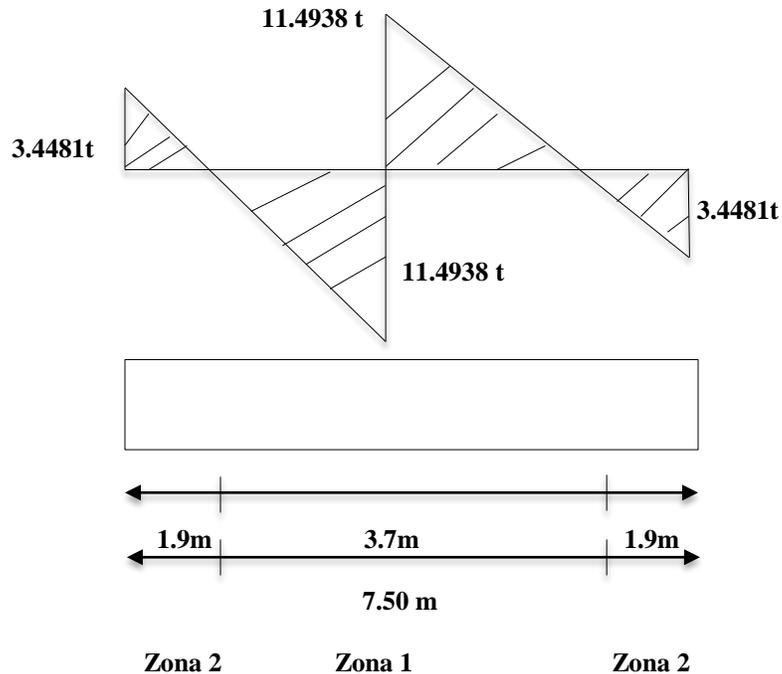
$$V = 11.4938 - 2.452x$$

$$\therefore 2.56 = 11.4938 - 2.452x \quad \text{multiplicado por } (-1)$$

$$-2.56 = -11.4938 + 2.452x$$

$$-2.56 + 11.4938 = 2.452x$$

$$x = \frac{11.4938 - 2.56}{2.452}, x = 3.6435 \approx 3.7$$



$$S = \frac{d}{2} = \frac{25 \text{ cm}}{2} = 12.5 \text{ cm} \approx 10 \text{ cm}$$

$$S = \frac{d}{3} = \frac{25 \text{ cm}}{3} = 8.33 \text{ cm} \approx 8 \text{ cm}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Zona 1: colocar estribos # 3 @ 8cm

Zona 2: colocar estribos # 3 @ 10cm

En ambas zonas los primeros 5 estribos en cada unión colocar @ 5 cm en ambas direcciones

7.7.2. Diseño de columnas

Tomando en este caso la carga distribuida mayor con el momento máximo, ya que este será el que tendrá que presentar mayor resistencia.

$$P = 18.39 t$$

$$\begin{aligned} P &= 1.4 P \\ P &= 1.4 (18.39 t) \\ P &= 25.746 t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= 1.4 M \\ M &= 1.4 (2.4244 t/m) \\ M &= 3.3942 t/m \end{aligned}$$

Proponemos una sección de 30 x 30

$$0.30m \times 0.30m = 0.09m$$

$$p = 1\%$$

$$A_g = 900 cm^2$$

$$A_s = 9 cm^2 \text{ Tomar } 4 \# 6 (A_{sr} = 11.4 cm^2)$$

Porcentaje general del acero

$$P_g = \frac{A_{sr}}{A_g}$$

$$P_g = \frac{11.4 cm^2}{900 cm^2}$$

$$P_g = 0.0127 \approx 1.27\%$$

Recubrimiento de columnas son de 4cm.

Revisar cuanto resiste la sección

$$\begin{aligned} A_c &= A_g - A_{sr} \\ A_c &= 900 cm^2 - 11.4 cm^2 \\ A_c &= 888.6 cm^2 \end{aligned}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Carga aplicada de diseño

$$P_0 = \frac{A_c f'_c + A_{sr} f'_s}{3}$$

$$P_0 = \frac{(888.6 \text{ cm}^2)(140 \text{ kg/cm}^2) + (11.4 \text{ cm}^2)(1867 \text{ kg/cm}^2)}{3}$$

$$P_0 = 48,562.6 \text{ kg} \approx 48.5626 \text{ t}$$

$$gt = d - r_{recub}$$

$$gt = 30 - 8$$

$$gt = 22 \text{ cm}$$

$$g = \frac{22 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 0.7333 \approx 0.7$$

Revisar nomograma en anexo

Calculo de la excentricidad

$$e = \frac{M}{P}$$

$$e = \frac{2.4244 \text{ t.m}}{18.39 \text{ t}} = 0.1318 \text{ m} \approx 14 \text{ cm}$$

$$\frac{e}{t} = \frac{14 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 0.4667 \approx 0.5$$

Tomando de la gráfica los valores de k ; $k^{e/t}$ y obtenemos que:

$$k = 0.19; \quad k^{e/t} = 0.09$$

$$P_u = k f'_c b t$$

$$P_u = 0.19 (210 \text{ kg/cm}^2) (30 \text{ cm})(30 \text{ cm})$$

$$P_u = 35,910 \text{ kg} \approx 35.91 \text{ t}$$

$$P_u > P$$

$$35.91 > 25.746 \text{ O.k}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$M_u = k^e / t f'_c b t$$

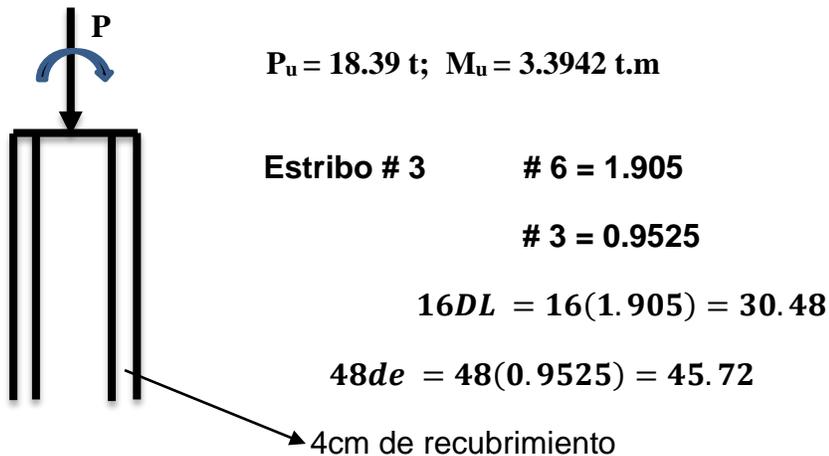
$$M_u = 0.09 \left(210 \frac{kg}{cm^2} \right) (30cm)(30cm)^2$$

$$M_u = 510,300 \approx 5.10 \text{ t.m}$$

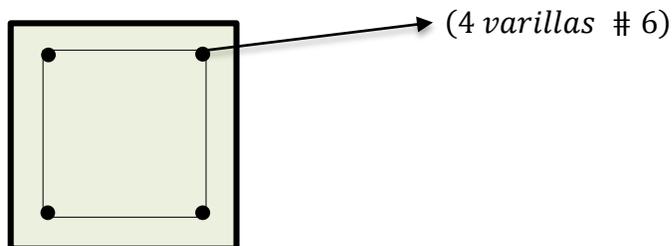
$$M_u > M$$

$$5.10 > 3.3942 \text{ O.k}$$

La columna propuesta de 30 x 30 cumple con los requisitos de diseño.



Dimensión 30 cm usaremos 28cm



“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

7.8. Diseño de un elemento estructural

Diseñe un elemento estructural de ferrocemento para soportar una fuerza de tensión directa de 2300 kg, las condiciones de utilidad exigen una estructura sin grieta. Supóngase que $\sigma_{mu} = 28 \text{ kg/cm}^2$, $\epsilon_m = 211 \text{ t/cm}^2$, $\sigma_m = 3.5 \text{ t}$, úsese la aproximación de la fibra alineada equivalente.

Solución:

La resistencia a la primera grieta bajo carga estática en el libro de Naaman “Reinforcing Mechanism in Ferrocement” se utiliza la forma empírica a la resistencia de la primera grieta $\sigma_{cr} = 24.5 S_L + \sigma_{mu}$

Utilizando un factor de seguridad de 1.25 la carga de diseño $P_d = 2300 \text{ kg}$.

1. $P_d = 2600 \text{ kg} \times 1.25 = 2875 \text{ kg}$

2. Si la primera resistencia al agrietamiento es de 49 kg/cm^2 entonces:

$$A_c = \frac{P_d}{\sigma_{cr}}$$

$$A_c = \frac{2875 \text{ kg}}{49 \text{ kg/cm}^2}$$

$$A_c = 58.67 \text{ cm}^2$$

3. Considerando una sección de prueba de $30 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$

4. Utilizando una malla hexagonal de 5×5 con alambre de diámetro de 0.1 cm

5. Por tanto : $d_l = d_t = 5 \text{ mm} = 0.5 \text{ cm}$ luego

$$S_L = \frac{\pi d n (4L_1 + 2L_2)}{x * y * z}$$

Tomando el caso mostrado en la figura (ver anexo 7), que tiene relación con la malla y carga orientadas en dirección “Y” se obtienen los siguientes valores (Paul y Pama, 1991). Geometría:

$\theta=45^\circ$, $L_1= 1.12$, $L_2= 1.2$, Calibre de alambre B.W.G. : 22, $\Omega_1= 0.43$, $\Omega_2= 0.57$

Diámetro de la fibra en cm: 0.067 cm

Factor de eficiencia de la malla η_{1y} : 0.809

Factor de eficiencia de la malla η_{2y} : 0.286

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Donde:

L_1 = Longitud total del alambre del extremo en cm

L_2 = Longitud del alambre intermedio en cm

x = Separación horizontal del alambre en cm

y = Separación vertical entre alambres en cm

n = Número de capas de malla

t = Espesor de la sección en cm

$$S_L = \frac{\pi(0.1\text{cm})(n)(4(1.12) + 2(1.27))}{(2.5)(2.5)(2.5)} = 0.18n(\text{en dos direcciones})$$

$$\text{entonces: } S_L = 0.18 \times 0.5 = 0.09n (\text{en una direccion})$$

luego

$$\sigma_{cr} = 24.5 S_L + \sigma_{mu}$$

$$49 = 24.5 (0.09 n) + (28 \text{ kg/cm}^2)$$

$$n = \frac{(49 \text{ kg/cm}^2) - (28 \text{ kg/cm}^2)}{(24.5)(0.09)}$$

$$n = 9.52 \approx 10 \text{ capas de malla hexagonal } 5 \times 5$$

6. Se utiliza una capa de mortero de 2mm como recubrimiento, calculamos el espaciamiento de centro a centro de la malla de refuerzo:

$$S = \frac{t - (2d'' + d)}{(n - 1)}$$

$$S = \frac{2 - (2(0.15) + 0.105)}{(10 - 1)}$$

$$S = 0.18 \text{ cm}$$

Lo que indica que se tiene un espesor ocupado por el esfuerzo de:

$$SI = 4 \frac{V_f}{d}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

$$0.18(4) + 0.1 = 0.82\text{cm}$$

Que es menor que el espesor de la sección disponible de 2cm.

7. La fracción del volumen real de la fibra en la dirección de la carga es:

$$V_{fl} = \frac{25 \pi d^2 n (4L_1 + 2L_2)}{x * y * t}$$

$$V_{fl} = \frac{25 \pi (0.06)^2 (14) (4(1.12) + 2(1.27))}{(2.5)(2.5)(2)}$$

$$V_{fl} = 4.41 \%$$

Y la fracción de volumen mínimo de la fibra lineal requerida es:

$$V_{fmin} = \frac{\sigma_{cr}}{f_y}$$

$$V_{fmin} = \frac{49 \text{ kg/cm}^2}{3500 \text{ kg/cm}^2}$$

$$V_{fmin} = 0.014\%$$

Luego $V_{fl} > V_{fmin}$

$$4.41 > 0.014 \text{ Ok!}$$

8. La resistencia a la primera grieta puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{cr} = (24.5 \times 0.09 \times 10) + 28 = 50.05 \text{ kg/cm}^2 > 49 \text{ kg/cm}^2 \text{ Ok!}$$

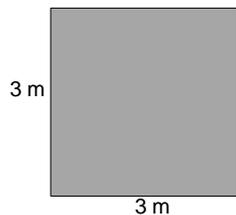
Nota: Como se ha observado en otros casos se tomara como referencia que el número de mallas basta con 6 capas de malla, 3 a cada lado ya que cumple con la resistencia óptima.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

7.9. Comparación de presupuesto de paredes

7.9.1. Sistema constructivo Ferrocemento

Dimensiones



Cálculo de cantidad de hierro y malla

Hierro 3/8 corrugado

$$\frac{3m}{0.3} = 10 \times 2 = \frac{20}{2} = \mathbf{10 \text{ varillas}}$$

Alambre de amarre 2% hierro total

$$10 \text{ varillas} \times 7.14 \text{ lbs/varillas} = \mathbf{71.43 \text{ libras}}$$

$$71.43 \text{ libras} \times 0.02 = 1.43 \approx \mathbf{2 \text{ libras}}$$

2 libras para conformar varillas del armazon

2 libras para fijar y tensar la malla para armazon

Total de alambre es de **4lbs**

Malla es de $1m^2$ y el area efectiva es de $0.8 m^2$

$$3m \times 3m = \mathbf{9m^2}$$

$$\frac{9 m^2}{0.8 m^2} = 11.25 \text{ unidades de } 1 m^2$$

$$11.25 \times 6 \text{ capas} = 67.5 \approx \mathbf{68 \text{ unidades de malla de } 1m^2}$$

Cantidad de Mortero $3m \times 3m \times 0.1 m = 9m^3$

Dosificación 1:2 con un desperdicio del 3%

Cemento equivale a 15.5 bolsas de 42.5 kg; Arena equivale a $0.917 m^3$

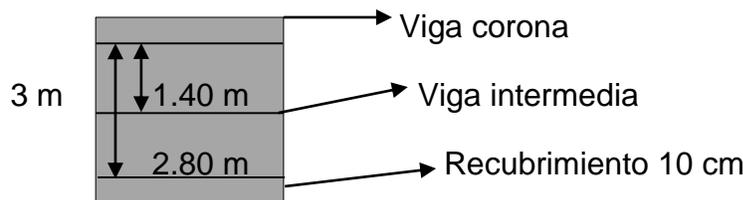
Cemento: $0.9 m^3 \times 15.5 \text{ bolsas}/m^3 = 13.95 \approx \mathbf{14 \text{ bolsas}}$

Arena: $0.9 m^3 \times 0.917 m^3 = 0.8253 \approx \mathbf{0.83 m^3}$

Nota: Los precios estipulados para cada material se reflejan en la tabla 6.

7.9.2. Sistema constructivo Concreto confinado (Bloque)

Dimensiones



“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Bloque de 20 x40

$$A_{\text{bloque}} = 0.2m \times 0.4m = 0.08 m^2$$

$$A = 1.40m \times 2.80m = 3.92 m^2$$

$$\#bloques = \frac{3.92 m^2}{0.08 m^2} = 49 \text{ bloques}$$

$$\text{cantidad de bloques} = 49 \text{ bloques} \times 2 = \mathbf{98 \text{ bloques}}$$

$$3.60 ml \times 12 = \mathbf{43.2 ml}$$

$$3.30 ml \times 8 = \mathbf{26.4 ml}$$

$$43.2 ml + 26.4 ml = \frac{69.6 ml}{6 ml/varilla} = 11.6 \approx \mathbf{12 \text{ varillas}}$$

$$\text{Estribos} = \frac{15 ml}{0.1} = 150 + 20 = \mathbf{170 \text{ estribos}}$$

$$\text{Long. Estribos} = 0.65 m \times 170 \text{ unid} = \frac{110.5 ml}{6 ml/varilla} = \mathbf{19 \text{ varilla}}$$

Alambre de amarre 2% hierro total

$$12 \text{ varillas} \times 7.14 \text{ lbs/varillas} = 85.68 \text{ libras}$$

$$71.43 \text{ libras} \times 0.02 = 1.7136 \approx \mathbf{2 \text{ libras}}$$

$$19 \text{ varillas} \times 3.33 \text{ lbs/varillas} = 63.27 \text{ libras}$$

$$63.27 \text{ libras} \times 0.02 = 1.2654 \approx \mathbf{2 \text{ libras}}$$

*Total de alambre es de **4lbs***

Para formaletas

Tablas de 1x12" de 5 vrs para 9 m² serán 10 tablas

Con 2 libras de clavos

Cantidad de Mortero

$$3m \times 3m \times 0.02 m = 0.18m^3 \times 2 = \mathbf{0.36m^3}$$

Dosificación 1:4 con un desperdicio del 3%

Cemento equivale a 8.8 bolsas de 42.5 kg; Arena equivale a 1.071 m³

$$\text{Cemento: } 0.36 m^3 \times 8.8 \text{ bolsas}/m^3 = 3.17 \text{ bolsas} \approx \mathbf{4 \text{ bolsas}}$$

$$\text{Arena: } 0.18 m^3 \times 1.071 m^3 = 0.1927 \approx \mathbf{0.193 m^3}$$

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Mortero a utilizar en uniones con dosificación 1:4

$$0.015 m^3 \times m^2 \text{ de pared}$$

$$3m \times 3m \times 0.015 m = 0.135 m^3$$

Cemento: $0.135 m^3 \times 8.8 \text{ bolsas}/m^3 = 2 \text{ bolsas}$

Arena: $0.135 m^3 \times 1.071 m^3 = 0.144 m^3$

COMPARACION DE PRESUPUESTO					
FERROCEMENTO					
Material	Presentación	Unidad	Cantidad	Precio (C\$)	Sub-total (C\$)
Hierro corrugado (ASTM 104 LBS) 14 var	qq	(9.52 mm) 3/8 x 20'	10	100	1000
Alambre de amarre	qq	libras	4	20	80
Malla hexagonal	rollo	1m x 30m	68	45	3060
Cemento	c/u	bolsa	14	260	3640
Arena	m ³	m ³	0.83	500	415
TOTAL C\$					8195
CONCRETO CONFINADO (BLOQUE)					
Material	Presentación	Unidad	Cantidad	Precio (C\$)	Sub-total (C\$)
Bloque 20x40	c/u	completo	98	16	1568
Hierro corrugado	qq	(9.52 mm) 3/8 x 20'	12	100	1200
Alambre de amarre	lbs	lbs	4	20	80
Tablas	c/u	1x12" (5vrs)	10	250	2500
Clavos	lbs	lbs	2	20	40
Mano de obra	m ²	m ²	9	800	7200
Cemento	c/u	bolsa	6	260	1560
Estribos	c/u	completo	170	5	850
Arena	m ³	m ³	0.337	500	168.5
TOTAL C\$					15,166.5

Tabla 6: Comparación de presupuesto de paredes. Fuente: Elaboración propia.

VIII. CONCLUSION

La presente memoria investiga soluciones de mejoramiento para muros a base de ferrocemento, con el fin de generar un sistema mejorado que sea capaz de resistir cargas considerablemente mayor a la que resisten configuraciones actuales a estas paredes, producidas por solicitaciones eventuales como sismo o viento, en una edificación de varios pisos.

Las paredes de ferrocemento aparecen como una alternativa viable para el desarrollo estructural, debido principalmente al ahorro con respecto a los materiales utilizados y los buenos índices de resistencias que estos poseen. En la industria de la construcción puede ser utilizados en elementos estructurales tales como: techos, losas, muros, teniendo una amplia gama de fabricación en términos ingenieriles.

En la primera etapa se realizó el análisis estructural con el método KANI y la ayuda del software computacional SAP 2000.

Durante los últimos años se han llevado a cabo en todo el mundo numerosos estudios teóricos y experimentales para investigar las propiedades del ferrocemento, para explotar su campo potencial de aplicaciones. Han aparecido muchos artículos sobre este tema, pero se encuentran dispersos en muchas publicaciones.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

IX. BIBLIOGRAFIA

- ❖ Bayardo Altamirano. “Apuntes de Análisis Estructural II y Concreto II” Managua- Nicaragua, 2015.
- ❖ B.K. Paul; R.P. Pama. “Ferrocemento” Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, A.C. México 1991
- ❖ Carla Alejandra Barrientos Opazo. “Tesis: Diseño en ferrocemento de un edificio destinado a vivienda social” Valdivia- Chile, 2004.
- ❖ Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. “Especificaciones técnicas para el diseño de estructura de ferrocemento” Lima- Perú, 2003.
- ❖ Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. “Fundamentos para la aplicación de ferrocemento” Lima- Perú, 2000.
- ❖ Aydeé Patricia Guerrero Zúñiga; Luis Octavio González Salcedo. “Conceptos generales sobre ferrocemento” Palmira, 2008.
- ❖ Horacio Salene; Susana Comoglio; José Méndez Núñez. “Ferrocemento. Un material apropiado a nuestro medio” Octubre 2002.
- ❖ Iván Alex Rogel Maldonado. “Tesis: Muros de Contención de Ferrocemento” Valdivia- Chile, 2005.
- ❖ Valderas, J. y Velásquez J. “Tesis: Aplicación del Ferrocemento a la Construcción de Vivienda” UACH- Chile, 1991.
- ❖ Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). “Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07)” Managua-Nicaragua, Marzo 2007.

WEBGRAFIA

- ❖ <http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/ndetalle/article/ferrocemento-mejora-calidad-de-vivienda.html>
- ❖ <http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/ndetalle/article/ferrocemento-mejora-calidad-de-vivienda-en-zonas-sismicas.html>
- ❖ <http://www.arquimaster.com.ar/galeria/obra155.htm#sthash.0Lxtvwku.dpuf>
- ❖ <http://www.canalconstruccion.com/ferrocemento.html>
- ❖ <http://www.minas.upm.es/fundacion/jgs/images/pdf/XIIIconvocatoria/DABedoya.pdf>

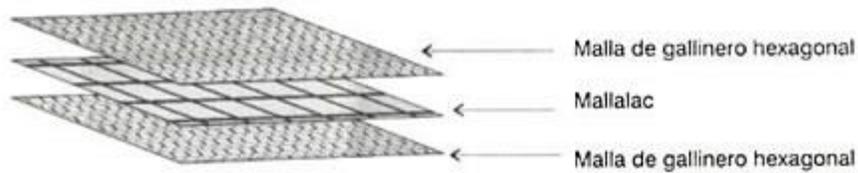
“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

X. CRONOGRAMA DE EJECUCION

CRONOGRAMA DE DESARROLLO																
	FEBRERO 2015				MARZO 2015				ABRIL 2015				MAYO 2015			
Actividades	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4
1- Recolección de información																
2- Análisis estructural																
3- Elaboración de planos en Autocad																
4- Análisis de resultados																
5- Conclusiones																
6- Recopilación de bibliografía																
7- Elaboración de anexos																
8- Entrega del borrador de monografía																

XI. ANEXOS

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”



Anexo 3. Colocación de mallas para un tanque de ferrocemento. Fuente: Consejo para el Desarrollo Regional del Noreste de Guanajuato. Ilustraciones: Araceli Ruiz Pérez y Manuel González Zavala

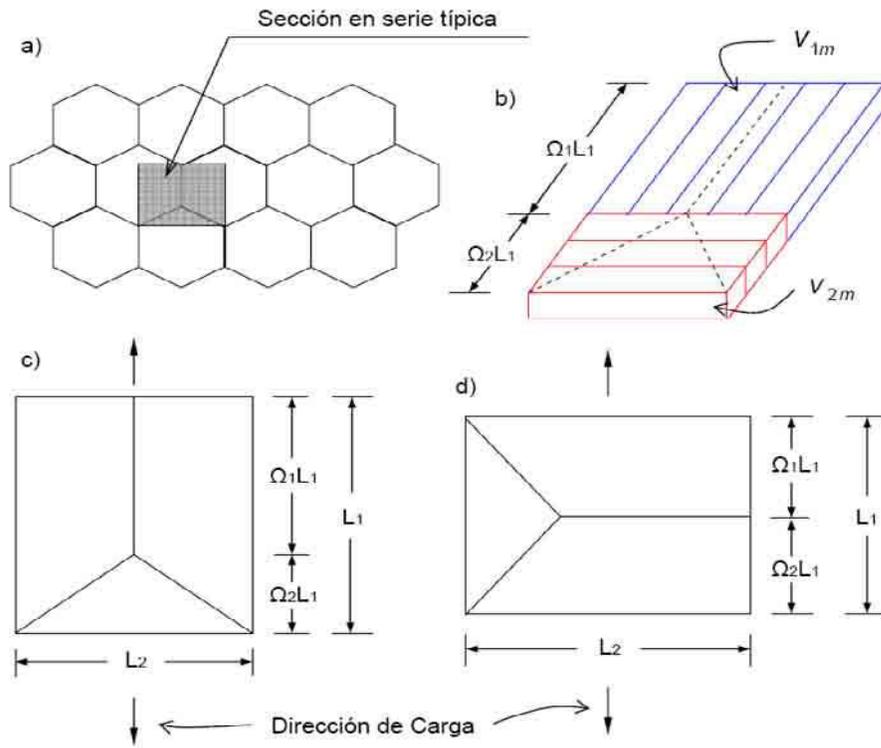


Anexo 4. Malla de alambre hexagonal. Fuente: Fotografía de Iván Rogel, Valdivia- Chile 2005

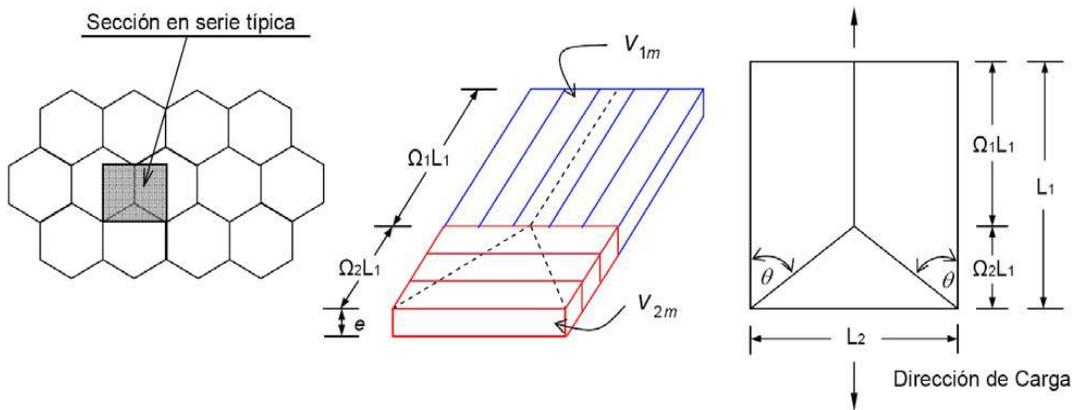
Malla Hexagonal Galvanizada (Inchalam, 2005)				
Largo normal: 50 m				
Alturas normales de: 0,60 - 0,80 - 1,00 - 1,20 - 1,50 - 1,80 m				
Tipo	Abertura Nom. pulg	Peso kg x m2 (aprox.)	Diámetro mm	Carga Ruptura kg
3/ 4 x 22	3/ 4	0,36	0,67	11
1 x 21	1	0,36	0,76	14
11/ 2 x 20	1,5	0,30	0,84	17
11/ 2 x 18e.	1,5	0,72	1,24	46

Anexo 5. Tabla 1. Propiedades Malla Hexagonal Galvanizada. Fuente: Muros de contención de ferrocemento.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

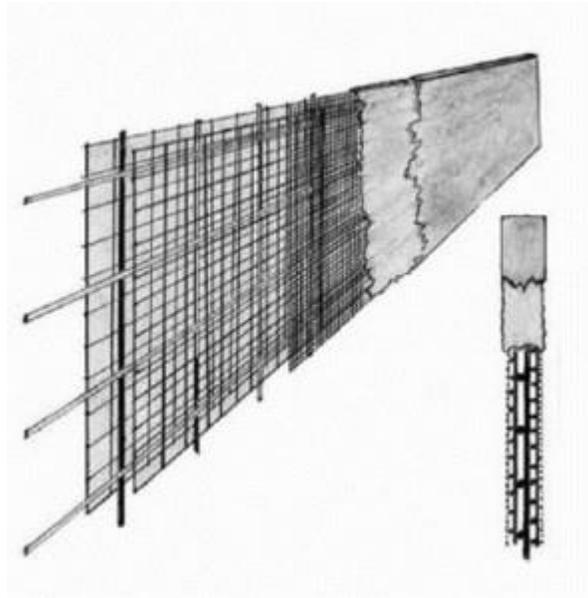


Anexo 6. Ejemplo de malla hexagonal y su orientación. a) Sección en serie típica. b) Fracciones de volumen de morteros respectivos en la sección en serie. c) Sección en serie orientada longitudinalmente a la dirección de la carga. d) Sección en serie orientada transversalmente a la dirección de la carga. Fuente: Muros de contención de ferrocemento.

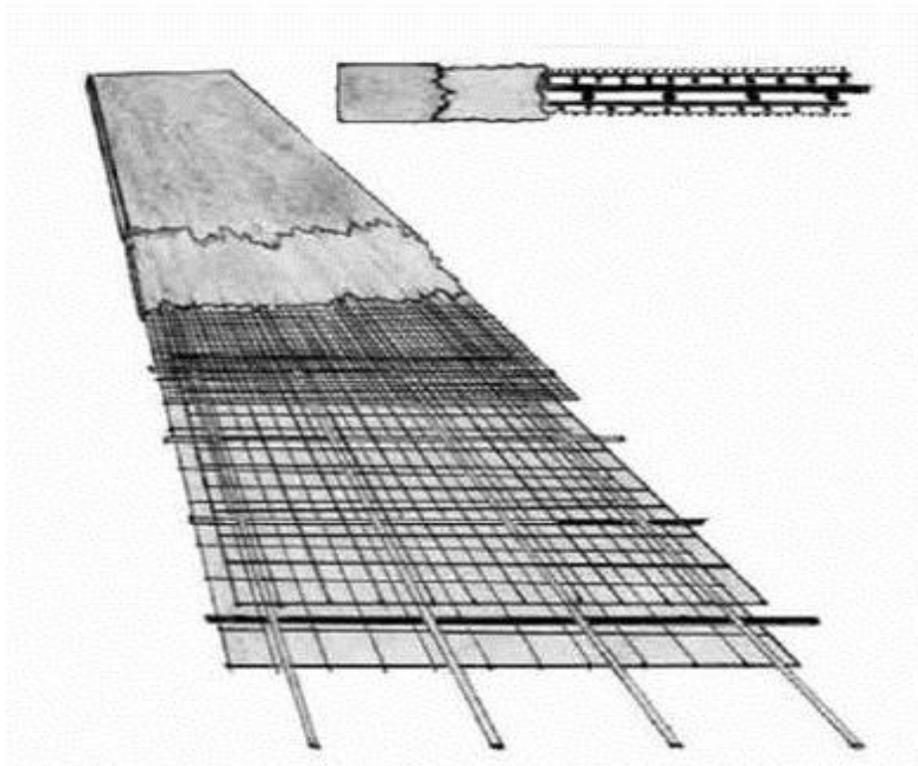


Anexo 7. Geometría y dimensión de la serie típica de malla hexagonal que se usó en nuestro diseño. Fuente: Muros de contención de ferrocemento.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

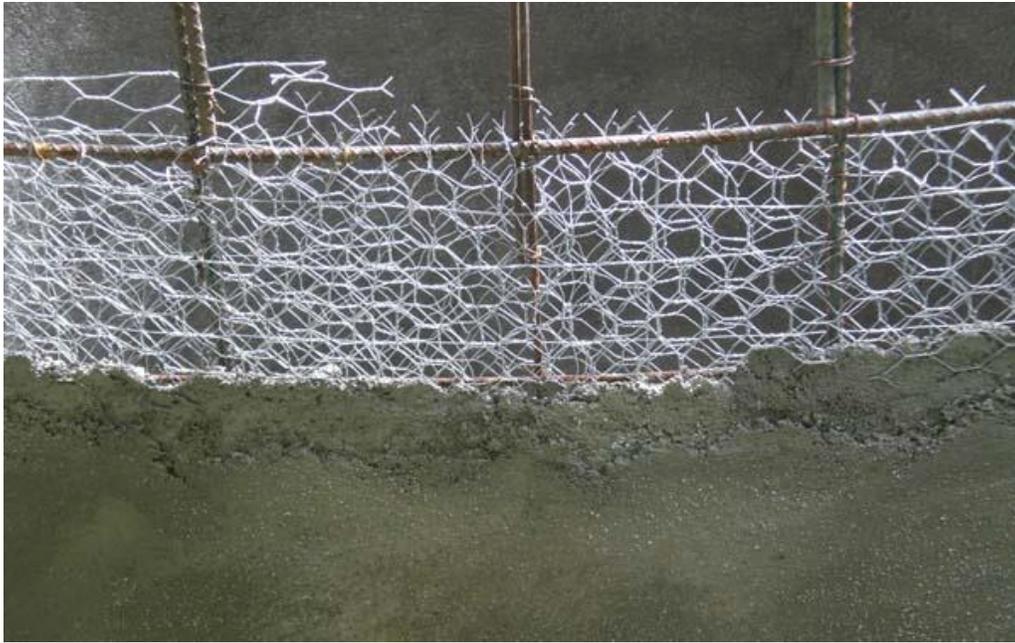


Anexo 8. Sección transversal de ferrocemento. Fuente: <http://wp.cienciaycemento.com/wp-content/uploads/2014/06/ferrocemento-296x300.jpg>



Anexo 9. Sección transversal de ferrocemento. Fuente: <http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2011/09/ferrocemento.jpg>

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”



Anexo 10. Pared de ferrocemento con malla hexagonal y su respectivo recubrimiento de mortero.
Fuente: <http://2.bp.blogspot.com/7RwTb2Z6XBk/TgdetarxeLI/AAAAAAAAAcU/js8gJEWx7XM/s1600/Ferrocemento.jpg>



Anexo 11. Pared de casa de ferrocemento. Fuente:
http://www.arquimaster.com.ar/galeria/obra155/casa_cisneros25b.jpg

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Análisis por el software SAP 2000 v 14

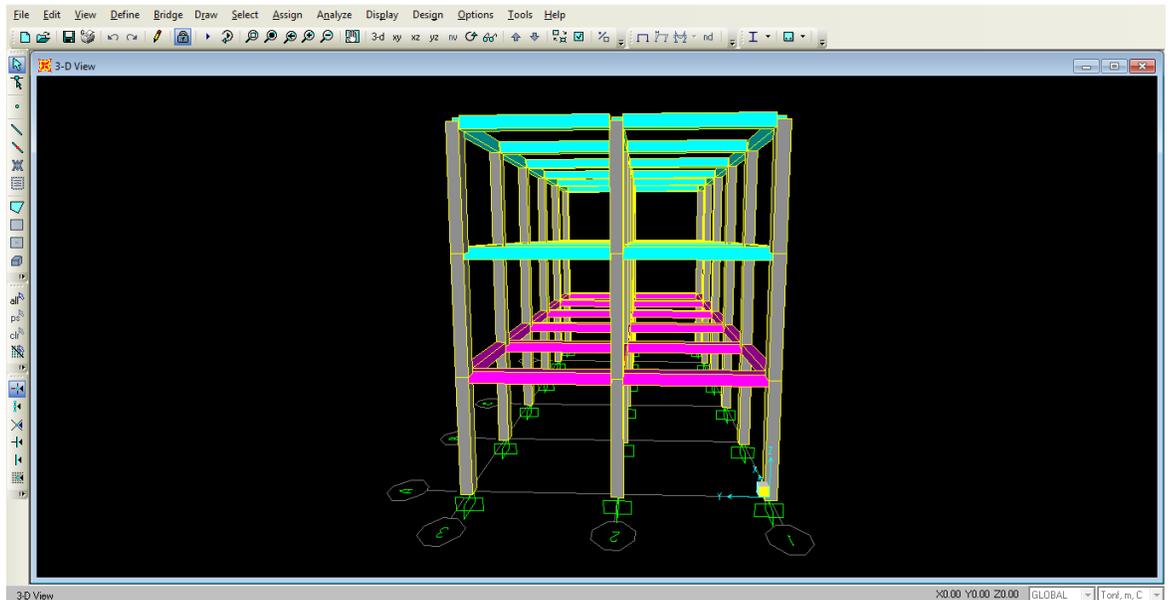
Para obtener un grado de seguridad y respaldo a los cálculos de análisis estructurales, es conveniente simular de manera virtual las reacciones, fuerzas y gráficos de la estructura. Por ello después de realizar el cálculo a mano alzada de los ejercicios a través del método de Kani, se desarrolló el mismo ejercicio en el programa de análisis llamado SAP2000 v14.

A través del siguiente trabajo, realizaremos análisis y diseño del proyecto destinado para casa de habitación de tres plantas, los entrepisos serán elaborados de losa de concreto y las particiones en paredes externas e internas serán de ferrocemento, el sistema de techo estará constituido por una cubierta de ferrocemento

Para realizar el diseño de la estructura procedimos a asignar los valores para el análisis, en este caso se requiere de una vasta experiencia y conocimiento en el software así como también el poder realizar los ejercicios a mano alzada.

Se realizó el análisis por el Método Kani y el SAP 2000 para observar el comportamiento de la estructura de la siguiente manera:

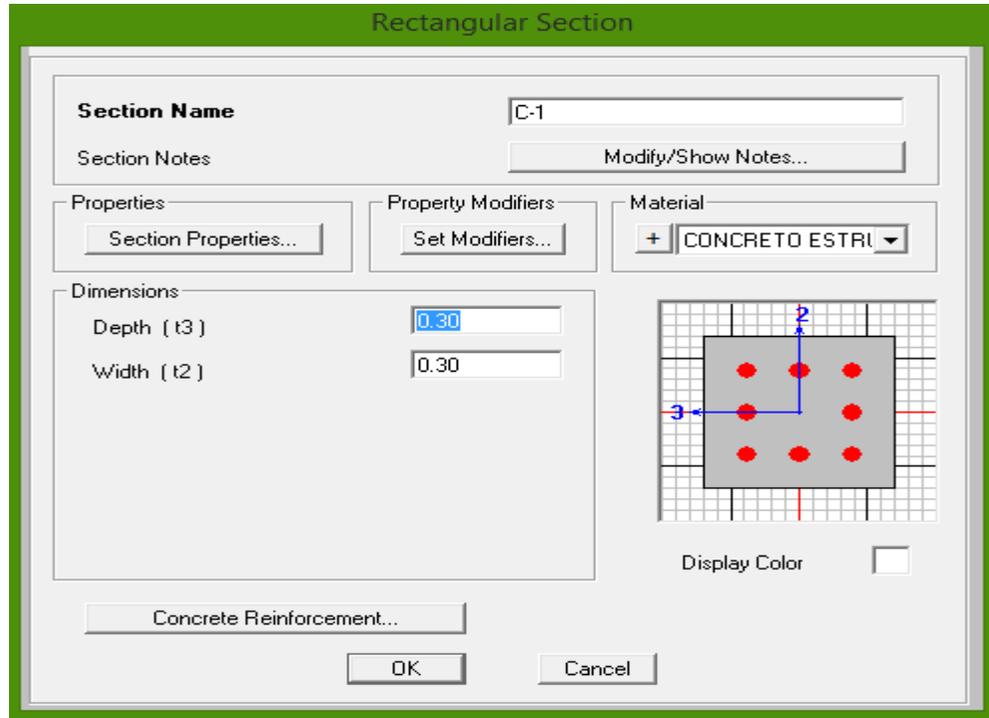
El marco a analizar será de tres niveles con puntos de apoyos empotrados y se trabajara con una resistencia del concreto 210 kg/m² equivalente a 3000 PSI, se utilizó un acero de refuerzo grado 75.



Anexo 12. El gráfico muestra el marco a analizar. Fuente: Elaboración propia

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Se procede a asignar los tipos de materiales a utilizar en cada sección de los elementos como son vigas y columnas. Las columnas presentaran las mismas características en cuanto al refuerzo y tendrán las mismas dimensiones para toda la estructura



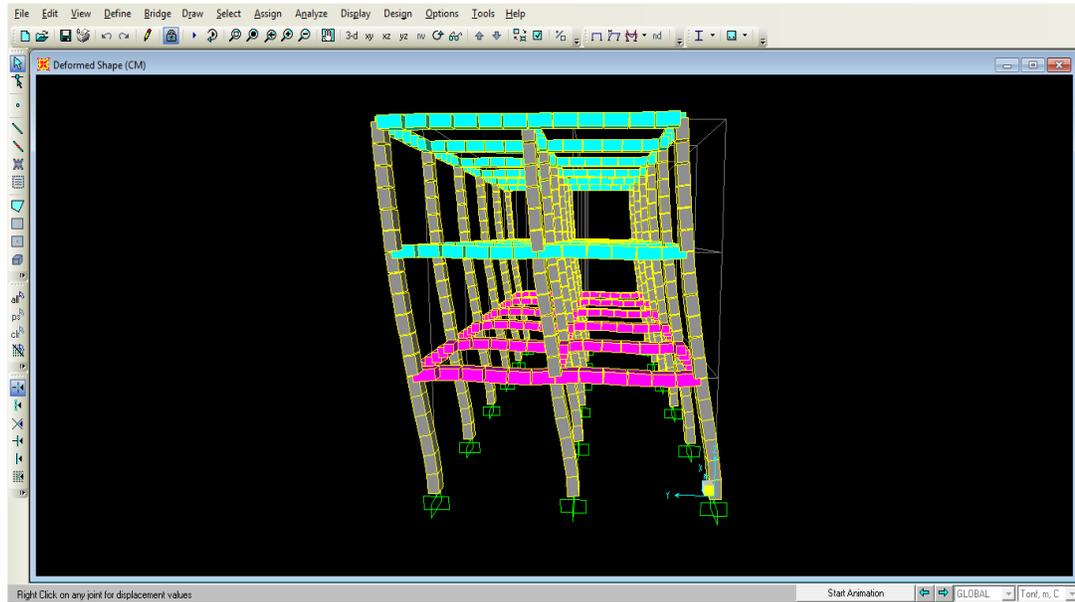
Anexo 13. Imagen que muestra las columnas de la estructura. Fuente: Elaboración Propia

De la misma manera se obtiene los dimensionamiento de las vigas. Se utilizó un recubrimiento de 0.04 m.

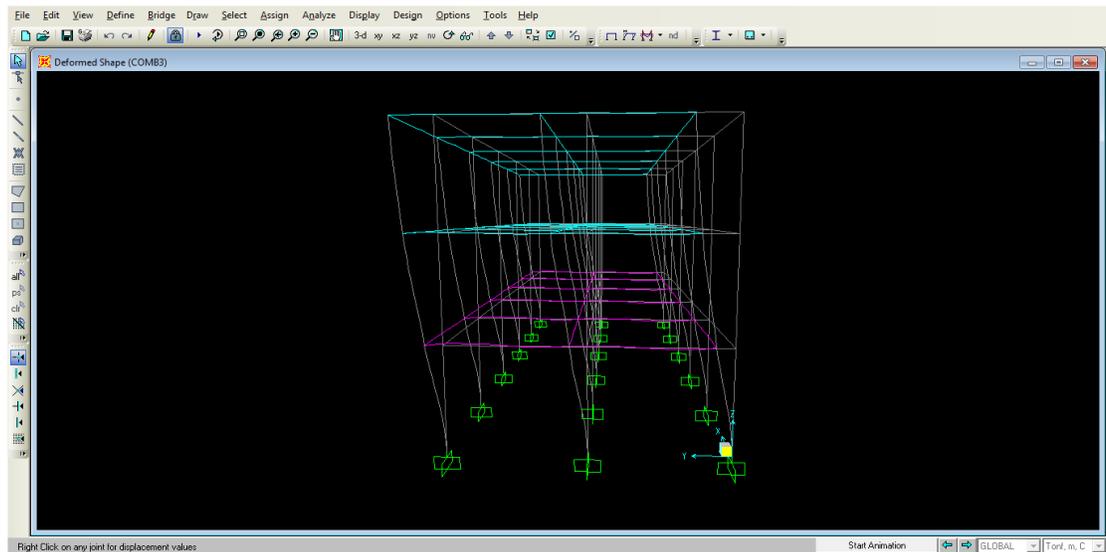
Una vez asignado las dimensiones de columnas y vigas con sus respectivos materiales se procede a aplicar cada una de las cargas que se establecen de acuerdo al reglamento como son las cargas vivas, cargas muertas y fuerzas sísmicas, de acuerdo al nivel de piso correspondiente.

Ya aplicadas las cargas al marco se pasa al análisis de la estructura donde se observan todos los casos de carga a la cual va a estar expuesto el edificio, obteniéndose la deformación en los elementos estructurales.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”



Anexo 14. En la imagen se muestra la simulación de todas las cargas de análisis y se observa que el edificio en estudio aparentemente presenta una torsión. Fuente: Elaboración propia.

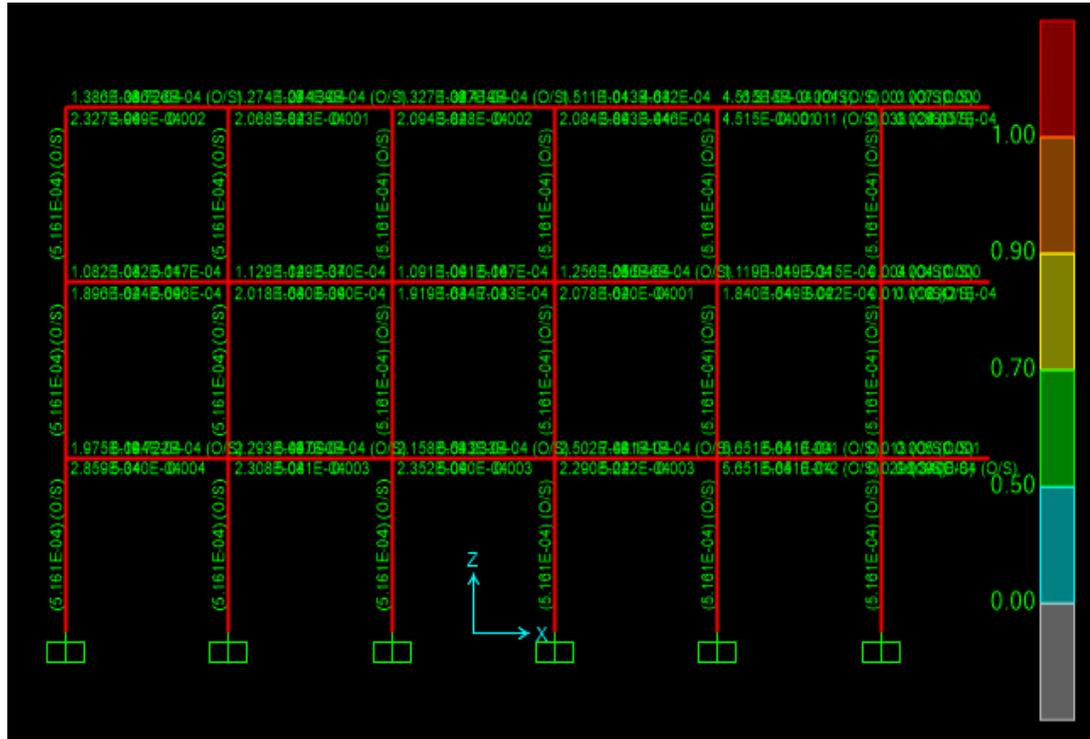


Anexo 15. En la figura se presenta los desplazamientos en el modo de vibrar. Fuente: Elaboración propia.

Es relevante mencionar que se realizó en los demás modos y se observó que el comportamiento de los desplazamientos seguía un patrón de reducción del mismo es decir en el modo de vibrar se presentan las condiciones máximas de desplazamientos y por ende las distorsiones.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

Evidentemente el respaldo virtual de análisis de una estructura es sumamente importante, fiable y rápido. Analizar una estructura en un programa como el sap2000, requiere de una basta experiencia y conocimiento en el software. Cabe destacar que ambos métodos son eficaces en los resultados si se sabe trabajar con ellos.

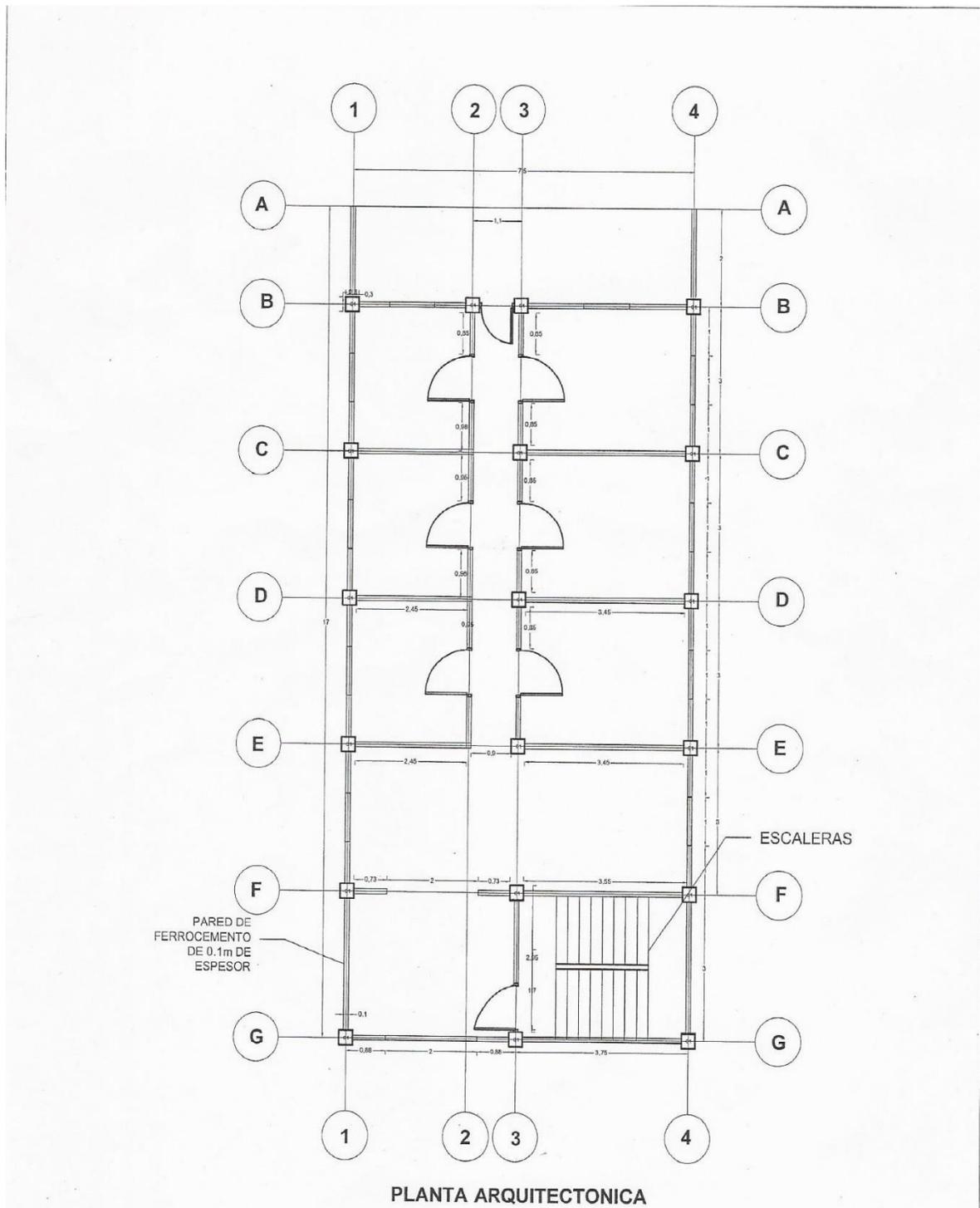


Anexo 16. Análisis de la estructura con todas las cargas aplicadas. Fuente: Elaboración propia.

La imagen nos muestra toda la estructura en rojo debido a que las vigas y columnas están al 100% de su capacidad y nos muestra distintas opciones de corrección.

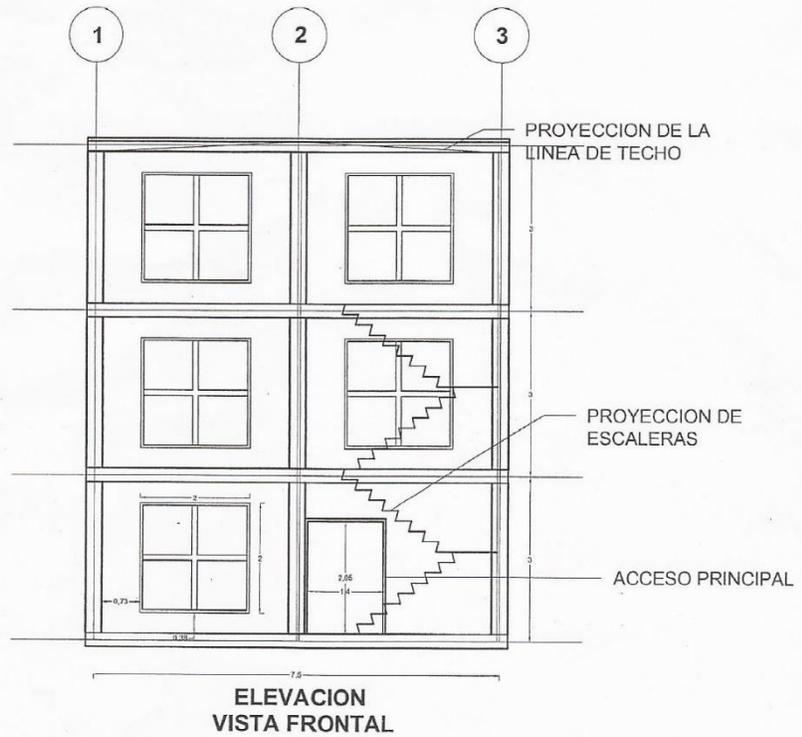
En este caso nos muestra q cambiemos la sección del acero de refuerzo.

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”



	ELABORADO POR:	PROYECTO::	1
	Br. IREYDA RAQUEL BERMUDEZ CALDERON	EDIFICIO TRIPLANTA DE FERROCEMENTO	DE
Br. MARTHA KRISTEL HERNANDEZ FONSECA			5

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”



ELABORADO POR:

Br. IREYDA RAQUEL BERMUDEZ CALDERON

Br. MARTHA KRISTEL HERNANDEZ FONSECA

PROYECTO::

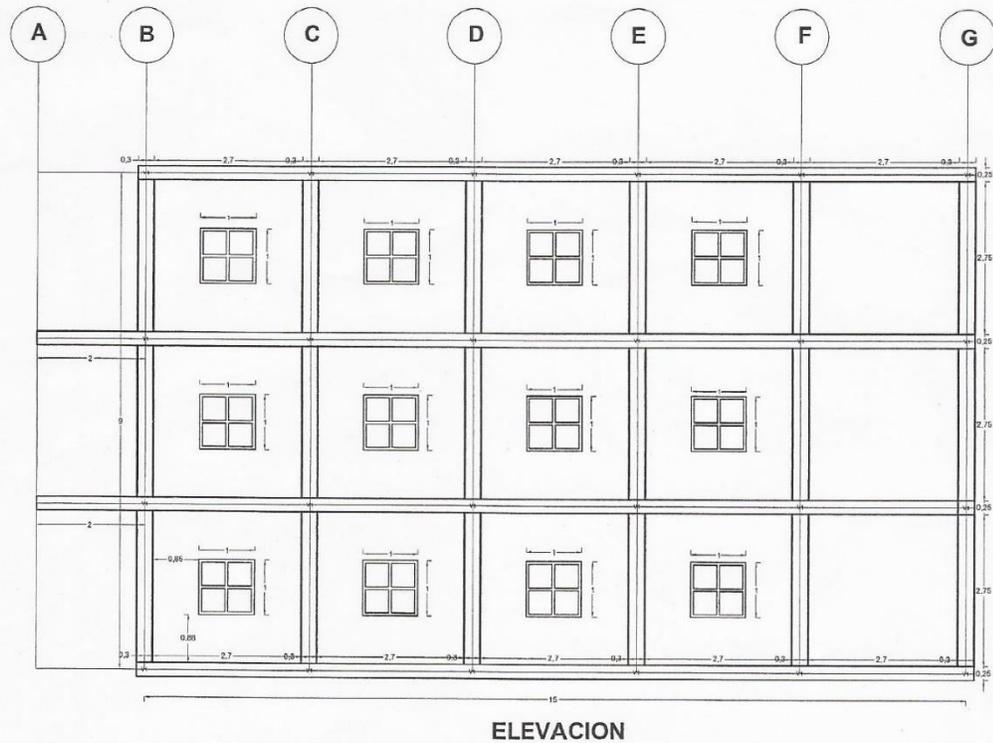
EDIFICIO TRIPLANTA DE FERROCEMENTO

2

DE

5

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

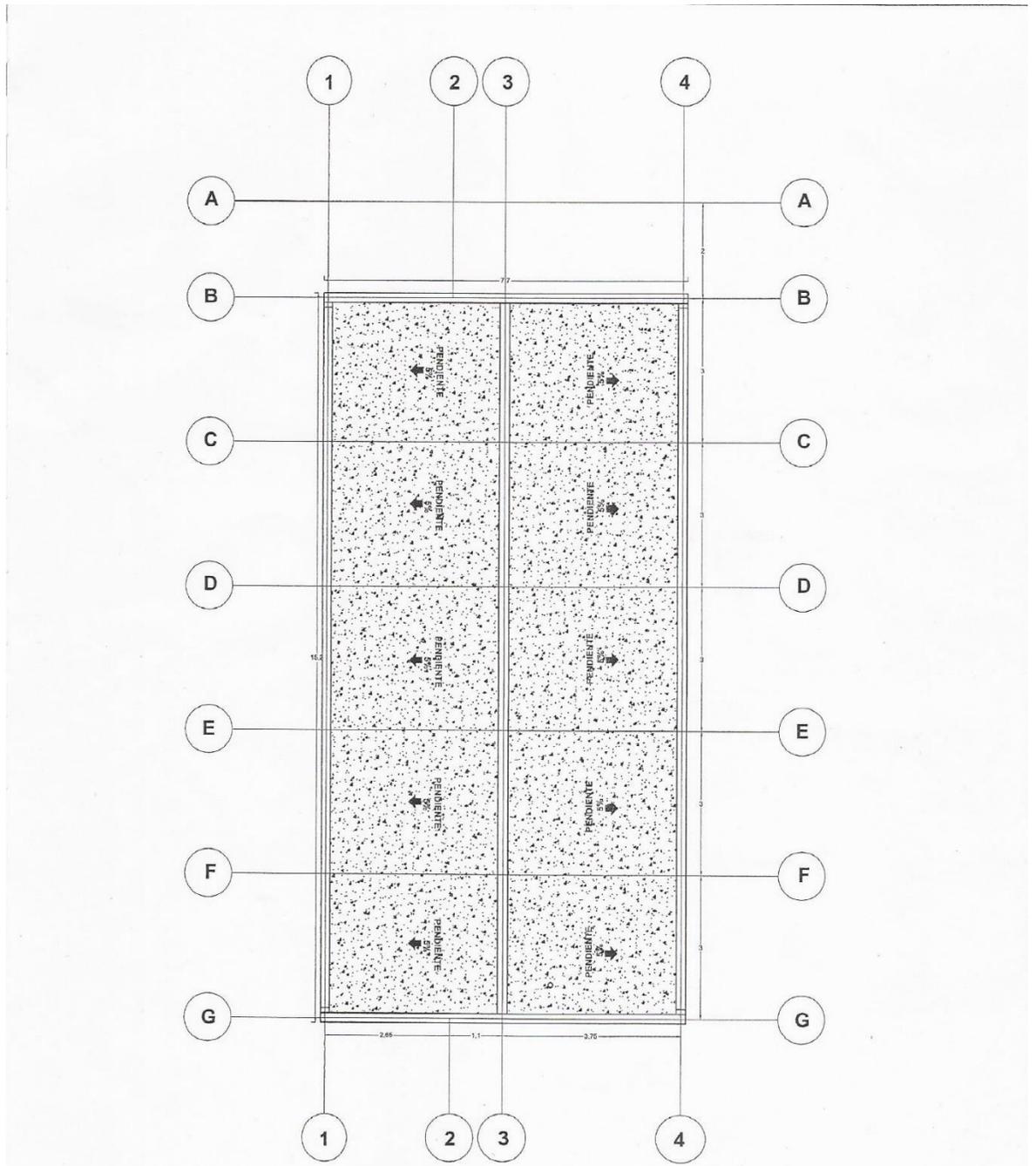


ELABORADO POR:
 Br. IREYDA RAQUEL BERMUDEZ CALDERON
 Br. MARTHA KRISTEL HERNANDEZ FONSECA

PROYECTO::
 EDIFICIO TRIPLANTA DE FERROCEMENTO

3
 DE
 5

“Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento”

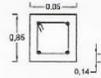


PLANTA DE TECHO

	ELABORADO POR:	PROYECTO::	4
	Br. IREYDA RAQUEL BERMUDEZ CALDERON	EDIFICIO TRIPLANTA DE FERROCEMENTO	DE
Br. MARTHA KRISTEL HERNANDEZ FONSECA			5

"Diseño de paredes a base del sistema constructivo Ferrocemento"

C1

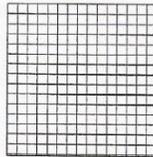


**COLUMNA DE CONCRETO DE 30X30
ARMADA CON VARILLAS 4#6 Y ESTRIBO #3
@ 0.05m LOS PRIMEROS 5 Y EL RESTO @ 0.28m**

V1



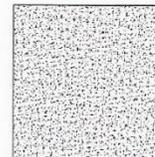
**VIGA DE CONCRETO DE 20X25
ARMADA CON VARILLAS 4#6 Y 2#4
CON ESTRIBOS #3 @ 0.05m LOS PRIMEROS 5 Y
EL RESTO SEGUN ZONA**



SECCION DE PARED
ARMADA CON VARILLA #3 @ 0.30m
EN AMBAS DIRECCIONES



SECCION DE PARED ARMADA CON VARILLAS #3
@ 0.30m EN AMBAS DIRECCIONES Y 6 CAPAS DE MALLA
HEXAGONAL O MALLA DE GALLINERO PLAJADAS CON ALAMBRE DE
AMARR# 116 @ 0.20



SECCION DE PARED CON SU
RECUBRIMIENTO DE MORTERO
REPELIDO Y FINO



ELABORADO POR:

Br. IREYDA RAQUEL BERMUDEZCALDERON

Br. MARTHA KRISTEL HERNANDEZ FONSECA

PROYECTO::

EDIFICIO TRIPLANTA DE FERROCEMENTO

5

DE

5